

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Kreativní tvorba produktů v obrábění

Creation Produces in Machining

Student:

Marek Šuhajda

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. et Ing. Mgr. Jana Nováková

Ostrava 2009

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo na nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst.3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevздáním své bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Adresa trvalého pobytu studenta:

Tovární 646

Bojkovice

687 71

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠUHAJDA, Marek. *Kreativní tvorba produktů v obrábění*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 53 s. Bakalářská práce, vedoucí: Ing. et Ing. Mgr. Jana Nováková.

Bakalářská práce se zabývá kreativní tvorbou produktů v obrábění. Uplatnění kreatiky jako nové vědní disciplíny v praxi má zásadní význam pro rozvoj vědy a výzkumu. Kreativní charakter je jednou z možností řešení technologických úloh. Kreatika odhaluje zákony výroby, souvislosti mezi stroji, nástroji a součástkami, což se v konečném důsledku projeví v optimální tvorbě produktů. V úvodu bakalářské práce je popsána teorie kreatiky, na kterou navazuje popis současných metod výroby. Cílem bakalářské práce je analyzovat současný stav teorie o výrobě součástek a zaměřit se na kreativní tvorbu produktů v oblasti obrábění.

ANNOTATION OF THESIS

ŠUHAJDA, Marek. *Creation Produces in Machining*. Ostrava: Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 53 p. Thesis, head: Jana Nováková, multi MSc., M. A.

The bachelor thesis is engaged in creation produces in Machining. Usage of laws of creatics as a new branch of science in practise imports a progress of science and research. A creative pattern is one of the possibilities of resolution of technological problems. Creatics discovers the rules of manufacture, connection between machines, tools and fitments, which eventuate in optimal creation produces. At the beginning is described the theory of creatics followed by a description of current manufacturing methods. The objective of this work is an analysis of the present state of manufacturing theory focused on creation produces in machining.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	7
1 Úvod	9
2 Úvod do teorie o výrobě součástek.....	10
2.1 Počátky výroby.....	10
2.2 Typy výroby	11
Kusová výroba.....	11
Sériová výroba.....	12
Hromadná výroba	12
2.3 Výrobní metody v 19. a 20. století.....	13
Uplatnění výsledků vědy.....	13
Hlavní směry výrobních metod	13
Obrábění na přelomu 19. a 20. století	14
Obrábění v letech 1945 – 1955.....	15
Obrábění v letech 1956 – 1960.....	15
Obrábění po roce 1960.....	15
3 Současné metody obrábění	17
3.1 Typová technologie	17
3.2 Skupinová technologie.....	18
4 Kreatika a zákony výroby součástek.....	21
4.1 Definice pojmu kreatika	21
4.2 Zákony kreatiky	21
5 Aplikace zákonů kreatiky na konkrétním příkladu	23
5.1 Použitý stroj.....	24
5.2 Použité nástroje.....	25
Popis frézy F3AH1800ADL30.....	25
Popis frézy F4AJ1800ADN30	26
Popis frézy F3AH1600ADL30.....	26
5.3 Zkušební materiál.....	27
5.4 Řezné podmínky	29
5.5 Stanovení drsnosti povrchu	31
5.5.1 Parametry drsnosti povrchu	31
5.5.2 Použité zařízení pro měření drsnosti vzorků.....	32
5.5.3 Testování hodnot podezřelých na zatížení hrubou chybou	34
5.5.4 Nejistoty měření a jejich vyjadřování	35
5.6 Vyhodnocení drsnosti povrchu.....	36
6 Zhodnocení kreativního přístupu při tvorbě produktů.....	48
7 Závěr	50
Použité zdroje	53

Seznam použitých symbolů a zkratk

AP1 MAX	Maximální využitelná délka řezné části nástroje	[mm]
CAPP	Počítačem podporované navrhování postupů	[-]
CNC	Počítačem řízený stroj	[-]
Co.	Company - společnost	[-]
D	Průměr stopky nástroje	[mm]
D1	Řezný průměr nástroje	[mm]
GT	Skupinová technologie	[-]
HRC	Značení tvrdosti podle Rockwella	[-]
HSC	High Speed Cutting (vysokorychlostní obrábění)	[-]
H ₂ , H _n	Normované hodnoty	[mm]
L	Celková délka nástroje	[mm]
LS	Použitelná délka stopky nástroje	[mm]
NC	Počítačem řízený stroj	[-]
Ra	Střední aritmetická úchylka profilu	[μm]
Rz	Největší výška profilu	[μm]
Zp	Největší výstupek profilu	[μm]
Zv	Největší hloubka profilu	[μm]
Z(x)	Aritmetický průměr absolutních hodnot souřadnic	[μm]
a _p	Hloubka řezu	[mm]
b	Šířka řezu	[mm]
f _z	Posuv na zub	[mm]
l _r	Základní délka profilu	[mm]
n	Rozsah výběru	[-]
n ₁	Otáčky	[min ⁻¹]
p	Pravděpodobnost	[%]
s(x)	Výběrová směrodatná odchylka	[mm]
$s(\bar{x})$	Standardní nejistota typu A	[mm]
u _A	Standardní nejistota typu A	[mm]
u _B	Standardní nejistota typu B	[mm]
u _{B1}	Nejistota vlivu opěrné paty snímacího hrotu	
u _{B2}	Nejistota měřicího přístroje	

v_c	Rychlost řezání	$[m \cdot min^{-1}]$
v_f	Rychlost posuvu	$[m \cdot min^{-1}]$
x_i	Naměřená hodnota	$[mm]$
\bar{x}	Střední hodnota	$[mm]$
z	Počet zubů frézy	$[-]$

1 Úvod

Řešené technologické úlohy mají rutinní a nebo kreativní charakter. Podíl rutinní a tvořivé části úloh je různý v závislosti na řešené úloze. Rutinní části úloh jsou řešeny podle vzorů dřívějších řešení. Kreativní části se řeší metodou pokus – omyl – úspěch. [1]

Kreatika je tedy nová vědní disciplína, která se zabývá výrobou a vytvářením předmětů živočichy a stroji. Výroba je cílevědomá lidská činnost. Ve výrobě člověk mění vlastnosti zpracovaného materiálu v souladu se zákony přírody a svými potřebami. Cílem kreatiky je odhalit zákony výroby, souvislosti mezi stroji, nástroji a součástkami, což se v konečném důsledku projeví v optimální tvorbě produktů. Trendem je zaměřit se na tvořivost a využívat ji při kreativní tvorbě produktů.

O procesech, které probíhají při změně vlastností materiálů ve strojírenství pojednávají teorie odlévání, svařování, tepelného zpracování, tváření, ohýbání, řezání, práškové metalurgie, povrchových úprav a mnoho dalších.

Předmětem strojírenské výroby je výroba součástek a dílců, které skládáme do strojů a dílců – montáž. Tyto činnosti neměly do současnosti svoji teorii. Tak jako odlévání, svařování a jiné strojírenské technologie existovaly a používaly se ve strojírenství, právě tak se bez teorie vyráběly součástky, stroje a zařízení. Vodítkem pro teorii byla praxe a získané zkušenosti. Dnes se tedy začíná hovořit o teorii výroby součástek, teorii montáže a teorii strojírenské výroby.

Cílem bakalářské práce je vysvětlit a objasnit teorii o výrobě součástek a zaměřit se na kreativní tvorbu produktů v oblasti obrábění.

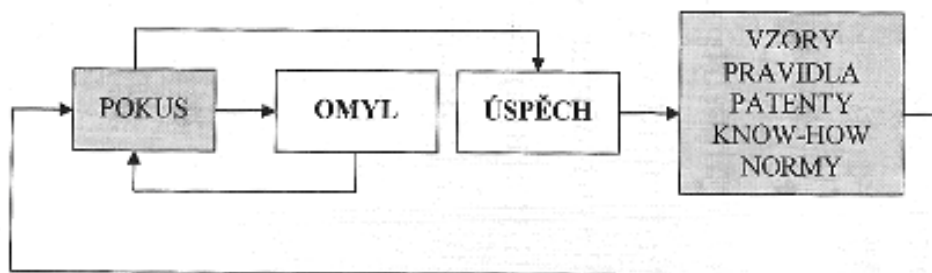
V první části bakalářské práce jsou popsány počátky výroby. Na počátky výroby navazují typy výroby a současné metody výroby. V další části se bakalářská práce zabývá samotnou kreatikou a zákony výrobou součástek.

2 Úvod do teorie o výrobě součástek

2.1 Počátky výroby

Výroba je definována jako tvorba nových výrobků, které společnost potřebuje ke své existenci a pro svůj rozvoj. Pro vznik výroby byly určující právě lidské potřeby. Výroba představuje výsledky práce (výrobky, výkony), které jsou určené pro výrobní, společenskou a individuální spotřebu. Z technického hlediska je výrobní proces přeměna vstupních surovin a materiálů za aktivní účasti pracovní síly s pomocí investičního a oběžného materiálu ve výrobek. Výroba je proces vědomého přetváření zdrojů ve výsledný produkt. Lidé pocítovali potřebu výroby předmětů, které by jim usnadnily práci, potřebu seberealizace při výrobě (výroba patentů).

Zhotovením nových předmětů, součástek a zařízení s požadovanými materiálovými a geometrickými vlastnostmi se zabývá výrobní technologie. V minulosti se vyrábělo především metodou pokus – omyl – úspěch. Z mnoha vyrobených součástek, ať už úspěšně nebo neúspěšně, vznikaly vzory pro další výrobu. Podle vzorů, možno je nazývat také jako modely, se snižuje počet neúspěšných pokusů, čímž se zefektivní výroba a sníží výrobní náklady. Z těchto vzorů – modelů vznikají nové metody výroby, patenty, normy, nebo tzv. know-how. Schématicky lze tento kontinuální proces znázornit dle obr. 2.1.



Obr. 2.1 - Tvorba produktů podle zkušeností [1]

Prvními kroky vědeckého přístupu k technologiím znamenalo dílo J. Beckmanna, který ve svém díle nazvaném General technology z roku 1806 tvrdil, že technologické procesy je třeba třídit ne podle zpracovaného materiálu, ale podle nástrojů, které se při jejich přeměně využívají. Mnohé vědecké objevy z oblasti výroby

vznikly v devatenáctém století, ale technologie jako věda se rozvíjela až ve dvacátém století. [1]

Významný mezníkem bylo také zavedení hromadné výroby. Henry Ford realizoval princip hromadné výroby pomocí pohyblivé montážní linky, kterou uvedl do provozu v roce 1913. Linka se stala symbolem nového způsobu výroby, někdy nazývaného jako fordismus. Fordův výrobní způsob později napodobovali další výrobci z celého světa. [1]

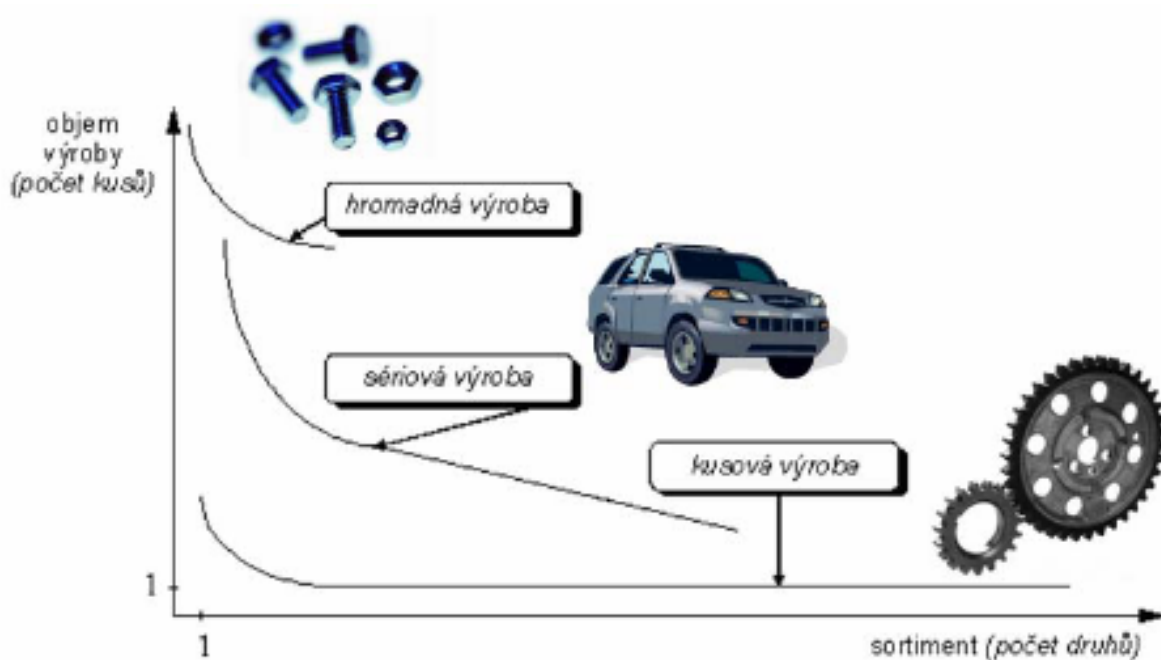
2.2 Typy výroby

Typ výroby je dán množstvím a počtem druhů výrobků vyráběných ve výrobní jednotce. Rozdělení je pouze informativní, jelikož neexistuje přesné dělící měřítko. Typ výroby ovlivňuje výrobní postupy z mnoha hledisek např. materiál polotovaru, podrobnost výrobního postupu, použité obráběcí stroje, nástroje, měřidla, přípravky, kvalifikace pracovníka, technologické podmínky, normování času apod. Podle uvedených kritérií rozeznáváme tyto základní typy výroby:

- výrobu kusovou;
- výrobu sériovou;
- výrobu hromadnou.

Kusová výroba

Kusová výroba vyrábí velký počet různých druhů výrobků v jednotlivých kusech, nebo v malých množstvích (Obr. 2.2). Opakuje se nepravidelně a v některých případech se neopakuje vůbec. Ojedinělost opakování výroby stejných druhů výrobků si vynucuje velkou univerzálnost strojů a vysokou kvalifikaci pracovníků. Vyrábí se výlučně na zakázku. Jde především o velmi složité výrobky, např. o výrobky těžkého strojírenství. Zvětšením počtu výrobků jednoho druhu, zúžením výrobního sortimentu zvětšením opakovanosti výrobního procesu přicházíme k vyššímu typu výrob, k sériové výrobě. Zpravidla jde o výrobu prototypů, speciálního náradí, přípravků nebo opravy součástek. [2]



Obr. 2.2 - Charakteristika typů výroby [2]

Sériová výroba

Sériová výroba je charakteristická výrobou většího či menšího množství výrobků stejného druhu (Obr. 2.1). Toto množství, které je zadáváno do výroby najednou se nazývá výrobní dávka (série) a jeho výroba se obvykle opakuje s určitou pravidelností. Opakovanost výroby umožňuje zvýšit specializaci pracovišť, takže se kromě univerzálních strojů používají i stroje specializované. Sériová výroba se může dělit na malosériovou a velkosériovou. Příkladem je výroba obráběcích a tvářecích strojů, stavebních a zemních strojů apod. [2]

Hromadná výroba

Hromadná výroba se vyznačuje výrobou jen jednoho nebo několika málo druhů výrobků s velkým množstvím produkce (Obr. 2.1). Je typická vysokou mírou opakovanosti a relativně dlouhou ustáleností výroby těchto výrobků. S výhodou se využívají jednoúčelové stroje velké výkonnosti, jednotlivá pracoviště jsou vysoce specializovaná. Pracovníci ve výrobě obvykle nemusí mít tak vysokou kvalifikaci, jako pracovníci v kusové výrobě. Příkladem může být výroba osobních automobilů nebo ložisek. [2]

2.3 Výrobní metody v 19. a 20. století

Uplatnění výsledků vědy

Využívání vědeckých poznatků se ve strojírenství dělo jednak využíváním nových poznatků přírodních a jiných věd a jednak konstituováním strojnictví jako nauky. [3]

Technické vědy se už během druhé poloviny 19. století konstituovaly ve specifickou oblast poznání mezi tzv. čistou vědou a výrobní praxí. Strojníctví jako nauka se zabývalo navrhováním, výrobou, provozem a udržováním strojů. Na konci 19. století se už dělilo na nauku o materiálu, nauku o strojích a jejich konstruování a nauku o výrobě strojů, které se během doby začaly dále členit na další strojnické nauky podle narůstající specializace oboru. Velký vliv na uplatňování vědeckých poznatků ve strojírenství mělo technické školství. [3]

Od konce 19. století dochází ke zřizování prvních zkušebních laboratoří. Od zkoušek materiálu se postupně přešlo ke zkoušení součástí a celých strojních celků. Tyto laboratoře zřizovaly průmyslové podniky, vysoké technické školy, odborné živnostenské spolky a instituce, některé zřídil i stát. [3]

Hlavní směry výrobních metod

Výrobou pracovních strojů, motorů, nástrojů a technologických zařízení se strojírenství odlišovalo od odvětví produkujících spotřební zboží. [3]

Proměnlivost výrobního procesu ve strojírenství měla značný vliv na požadovanou kvalifikaci dělníků, kteří jednotlivé součástky vyráběli pouze na základě jednoduchého náčrtku nebo jen ústního příkazu. V této situaci záleželo na individuálních schopnostech dělníka jakým výrobním postupem, za jak dlouho a v jaké kvalitě požadovanou součástku zhotoví. [3]

Poněkud jiná byla situace v produkci strojírenského spotřebního zboží, které mohlo být dodáváno ve velkém počtu kusů jednoho výrobku, který musel výrobce pod tlakem trhu a konkurence často inovovat. Proto právě zde dochází ve strojírenství nejdříve k zavádění hromadné a sériové výroby. Z těchto příčin byl tento obor ve strojírenství nositelem technického pokroku. [3]

Vedle výroby strojů a zařízení pro továrny, což bylo základním úkolem strojírenství, se k němu začaly postupně přiřazovat další výrobní obory, jako např. výroba zbraní, nástrojů a hodin, a poté i obory příbuzné, mezi něž náležely výroba vagónů a lokomotiv, kotlů, stavba lodí, výroba plynoměrů a osvětlovacích těles, výroba šicích strojů, těžkých palných zbraní i počínající elektrotechnická výroba.

Na počátku 20. století byl podíl strojírenství na celkové průmyslové výrobě poměrně malý, avšak během první poloviny 20. století se strojírenství stalo jedním z nejvýznamnějších průmyslových odvětví. [3]

Důležitou úlohu v meziválečném období sehrála normalizace přinášející s sebou úsporu nákladů, uvolnění kapitálu uloženého v zásobách a zmenšení ploch skladovacích prostorů. [3]

Zároveň pokračoval i proces automatizace výrobního procesu. Tzv. malá automatizace se týkala především obrábění a charakterizovalo ji zavádění obráběcích automatů a poloautomatů. Tzv. velká automatizace se v tomto období uplatnila převážně v automobilovém průmyslu. První automatická obráběcí linka v tomto oboru řízená mechanickým způsobem se postavila v letech 1923-1924 v Anglii u firmy Morris Motors Co. a sloužila k obrábění bloků válců. V roce 1928 byla zprovozněna automatická linka na výrobu automobilových rámců u americké firmy A.O.Smith and Co. v Milwaukee. V roce 1929 pak vznikla automatická linka na základě stavebnicových obráběcích strojů u firmy Graham Page Motors sloužící k obrábění bloků válců. [3]

Obrábění na přelomu 19. a 20. století

Na přelomu 19. a 20. století postupně vznikla nauka o obrábění, zabývající se stanovováním správné řezné rychlosti a zjišťováním skutečných řezných sil působících na řezný nástroj. Dále se zkoumala trvanlivost bříty a životnost nástroje, atd.

Během první poloviny 20. století vyvstala rovněž otázka jakosti obrobené plochy, mající význam pro lícování, odolnost proti korozi a opotřebení, součinitele tření a únavovou pevnost. V roce 1931 došlo k vydání německé normy drsnosti povrchu DIN 140 používané v řadě zemí. [3]

Nové řezné materiály (zvláště slinuté karbidy) umožňovaly badatelům v oboru nauky o obrábění podstatně zvyšovat rychlosti řezání. Při svých pokusech zjistili, že měrný řezný odpor při rychlostech nad 100-150 m/min podstatně klesá a řezný děj nabývá nové kvality. [3]

Obrábění v letech 1945 – 1955

Tehdy se výroba obráběcích strojů zaměřovala na univerzální obráběcí stroje i některé typy strojů automatizovaných. Obnovila se a zintenzivnila i výroba obráběcích nástrojů a pomůcek pro technologii obrábění (měřidla, dílenské přístroje).

V období do roku 1955 se dále řešily úkoly v oblasti technické rekonstrukce strojírenství. [3]

Obrábění v letech 1956 – 1960

V technologii obrábění té doby postupoval rychle rozvoj automatizace a mechanizace. Nastal přechod na progresivní řezné podmínky. Úspěchů bylo dosaženo v oblasti speciálních metod obrábění např. tvarového broušení, obrábění miniaturních součástek. Více se začínaly uplatňovat nekonvenční technologie obrábění, zejména obrábění elektrojiskrové. [3]

V některých oblastech se rozvíjela menší mechanizace při obrábění, jako např. pneumatická upínací a hydraulická kopírovací zařízení na soustruzích. [3]

Obrábění po roce 1960

V tomto období se zvyšuje počet jednoúčelových obráběcích strojů a automatických výrobních linek. Do výroby jsou začleňovány automatické jednoúčelové stroje a výrobní linky s určitou možností přestavení. [3]

Velký vliv na další rozvoj technologie obrábění začaly mít programově řízené stroje, které byly spjaty s rozvojem pružné automatizace umožňující rychlou změnu výroby na daném výrobním zařízení. [3]

Pro zkonstruování programově řízených nenumernických obráběcích strojů se užívalo mechanických, elektrických, hydraulických, pneumatických nebo kombinovaných systémů. Program výroby se u nich zadával seřazením zářezek,

mikrospínači a programovým ústrojím, křížovým voličem s krokovacím relé, čtečkou s děrnou páskou a krokovacím mechanismem apod. [3]

S nástupem numericky řízených (NC) obráběcích strojů rozvoj jiných obráběcích strojů a konvenční technologie obrábění nekončil. Vývoj pokračoval i v oblasti jednoúčelových strojů, stavebnicových jednotek a automatických výrobních linek. Byly také vyvinuty a realizovány manipulátory obrobků. Velmi rozsáhlý byl rozvoj typizace a normalizace konstrukčních uzlů jednoúčelových strojů a automatických výrobních linek. Vyráběly se rovněž pružné jednoúčelové stroje pro velkosortimentní malosériovou a středně sériovou výrobu. [3]

Rozvoj elektroniky a výpočetní techniky umožnil široký rozvoj použití NC strojů. Jejich význam v technologii obrábění v českých zemích se začíná projevovat od konce 50. let 20. století.

NC stroje se začaly používat pro obrábění tvarově složitých obrobků.

3 Současné metody obrábění

Popsané metody výroby jsou uplatnitelné zejména při sériovém typu výroby. Pojmy jako typová a skupinová technologie byly vysloveny až ve 40. letech dvacátého století. Tvůrci těchto pojmů byli A. P. Sokolovskij kolem roku 1939 a S. P. Mitrofanov přibližně kolem roku 1950. Teorie strojírenské výroby se začala klasifikací součástek. A. P. Sokolovskij a jeho spolupracovníci zjistili skutečnost, že součástky vyrábíme podle vzorů. [1]

Vznikaly třídníky součástek a typové technologické postupy. Sokolovskij formuloval principy typové technologie: „podobné součástky vyrábíme podobným způsobem“. S. P. Mitrofanov rozvinul myšlenku typové technologie až ke skupinové technologii. A nakonec J. Békés, asi o padesát let později, připojil třetí atribut, a to „v podobných podmínkách“. [1]

J. Beckmann – A. P. Sokolovskij – J. Békesův zákon:

PODOBNÉ OBJEKTY V PODOBNÝCH PODMÍNKÁCH VYRÁBÍME PODOBNÝM ZPŮSOBEM

Obr. 2.3 - Schéma současných metod výroby [4]

Nyní budou blíže popsány pojmy typová a skupinová technologie, jelikož se využívají v praxi a jejich přínos pro další vývoj výrobních technologií je významný.

3.1 Typová technologie

Typizací výrobního procesu je například vypracování optimálního výrobního či montážního postupu pro soubor shodných nebo podobných součástí nebo montážních celků. U typové technologie je proveden výběr hmotných objektů nebo metod práce z hlediska jejich typických vlastností nebo parametrů, které optimálně splňují technické, funkční, ekonomické a jiné požadavky dané úlohy. [1]

Při uplatňování typové technologie v praxi se často zaměřujeme na:

- určení optimálního sortimentu výrobků, montážních celků a součástí, který odpovídá požadavkům funkčním, výrobním a provozním;
- odstranění neúčelné různorodosti v jednotlivých typech či provedeních;
- stanovení nejvýhodnějších metod práce v technické přípravě výroby;
- výběr typových řešení zadané úlohy, tj. typových projektů strojů, výrobních systémů, technologických metod apod.

V rámci typové technologie se vypracovává typových technologický postup pro tzv. představitele jedné skupiny součástí. To je součást, která co nejvíce vystihuje základní konstrukční a technologické znaky dané skupiny součástí. Prakticky to znamená, že dané součásti v typové skupině mají stejný sled operací, stejný způsob upínání, stejné nástroje a zařízení nutné pro jejich výrobu. Přitom představitele zahrnujeme i ty součásti, u kterých se vyskytují kromě stanovených základních operací navíc i operace méně významné. [1]

Mnoho technologů pracujících již řadu let v oddělení technologické přípravy výroby postupují podle metody typové technologie. Získávají během své praxe zkušenosti, které pak uplatňují na typové, běžně se vyskytující součástky. Navrhují postupy skoro automaticky, jakoby dle standardního receptu. Typové technologické postupy jsou základem i pro počítačem podporované navrhování postupů CAPP (Computer Aided Process Planning). [1]

3.2 Skupinová technologie

Pod pojmem skupinová technologie (Group Technology – GT) se rozumí postupy, kdy se obrábí skupiny tvarově rozdílných součástí. Tyto součásti však mají shodné některé konstrukčně technologické prvky vyžadující obrábění na určitém typu výrobního zařízení a umožňující jejich jednotné vybavení a seřízení. Vytváří se podmínky opakovatelného použití stroje seřízeného po obrábění nebo montáž skupiny podobných výrobků nebo pouze jejich vybraných součástí. [1]

Základní myšlenka je tedy seskupení součástek, které se mají zhotovit stejným a nebo podobným způsobem do skupin. Skupiny se posléze zadávají do výroby

najednou či postupně za sebou s narůstající a nebo se snižující podobností tak, aby časy na přestavení a seřízení strojů byly minimální. [1]

Když Sokolovskij třídil součástky podle geometrické, rozměrové a materiální podobnosti a velikosti série, Mitrofanov shromažďoval součástky podle podobnosti výrobního zařízení, podle podobnosti strojů, nástrojů, přípravků. Navrhl použít všeobecné nástrojové vybavení, přestavitelné přípravky aj. To vše vedlo k přechodu od kusové k sériové výrobě, od malosériové k velkosériové. [1]

Třídění součástí do skupin se provede nejprve podle hlavních rozměrů součástí. Rozměry součástí jsou důležité, protože určují především velikost stroje a použitelného přípravku. [1]

Je nutno však přihlížet nejen na velikost součásti, ale navíc musíme zohlednit:

- geometrický tvar – shodnost tvarových ploch, zejména obráběných ploch;
- přesnost a jakost obráběných ploch;
- stejnorodost materiálu aj.

Vhodné je uplatnit skupinovou technologii při malosériové výrobě, kde zjednodušuje a zkvalitňuje především práci technologické přípravy výroby a značně zkracuje čas potřebný na přípravu, seřizování strojů a zařízení při práci. Skupinová technologie má neopomenutelný význam a racionalizaci výroby a navíc vytváří základ pro automatizaci tvorby technologických postupů. [1]

V současnosti k významným systémům pro počítačovou podporu technologické přípravy výroby patří systém SYSKLASS vycházející ze skupinové technologie. Systém je vyvíjen slovenskou firmou GT Systémy Detvy a patří k nejvýznamnějším systémům tohoto typu v České a Slovenské republice. Nasazení systému SYSKLASS do předvýrobních etap v podniku není jednoduchou a jednorázovou činností. [1]

Dlouhodobý proces implementace systému začíná analýzou součástkové základny či výrobního profilu podniku a končí se doladováním systému na požadavky obsluhujícího personálu. Tento systém lze označit za učící se systém, protože jsou do něj postupně doladovány praktické zkušenosti pracovníků podniku, které mohou být

následně použité jinými zkušenými pracovníky. Celý systém se postupem času stává jakýmsi know-how podniku.

Při uplatnění skupinové technologie v praxi můžeme dosáhnout následujícího zlepšení racionalizace výroby:

- tříděním součástí do skupin zvyšujeme sériovost výroby, což následně pak umožňuje i v podnicích malosériové výroby použít metod obvyklých pro sériovou výrobu;
- snižuje podíl času potřebného na seřízení stroje tím, že na jedno seřízení, vybavení náradím umožňuje obrábění všech součástí, které jsou zahrnuty do určité skupiny;
- přispívá ke snížení jednotkového času tím, že umožňuje použití speciálních náradí, a to i při menším počtu jednotlivých součástí ve výrobě;
- odstraňuje různé, často zastaralé technologické metody výroby podobných součástí.

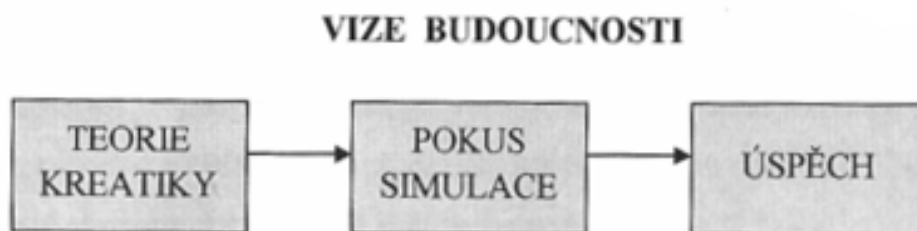
Obě metody se v praxi vzájemně doplňují. Na rozdíl od třídění součástí pro typizaci výrobních postupů je při skupinové technologii základem třídění součástí způsob výroby. Při zavádění výše zmíněných způsobů výroby se má především uplatňovat pokroková technologie ve výrobě, proto při návrhu technologie musíme vycházet nejen z dosavadních zkušeností technologů, ale také z nových ověřených progresivních technologických metod. [1]

4 Kreatika a zákony výroby součástek

Úlohou teorie je uspořádat jednotlivé poznatky, následně je spojit do uceleného celku, vysvětlit a předvídat průběh a spolupůsobení jevů a na tomto základě plánovat jejich požadovaný průběh. Byly zformulovány zákony, axiomy, lemmy tvorby produktů a vznikla tak nová vědní disciplína o výrobě, o tvoření nových předmětů. Pro tuto novou disciplínu byl zvolen název kreatika a nebo kreatologie. [1]

4.1 Definice pojmu kreatika

Kreatika je věda, zabývající se tvorbou nových produktů. Kreatika je vědní disciplína, která sumarizuje technické a technologické zkušenosti. Myšlenku kreatiky vymyslel Ján Békés, který se tomuto tématu věnuje přes více než padesát let. Za tuto dobu se stala kreatika jeho životním posláním. Vizi budoucnosti kreatiky můžeme znázornit na Obr. 4.1.



Obr. 4.1 - Schéma výroby v budoucnosti [1]

4.2 Zákony kreatiky

Historický vývoj vedl od pokus – omyl přes pořekadla – bajky až k receptům, materiálním produktům. Matematický popis produktů a jeho zhotovení směřovalo k náznakům prvních zákonů tvoření produktů. Potřeba realizace výsledků vedla k prohloubení formálního popisu produktů a jeho prostředků. Vznikl jedinečný CAPP systém nazvaný BEST, který je všeobecně platný algoritmus pro výpočet postupů

tvoření produktů ručně nebo na počítačích (Computer Aided Process Planning). Postupně byly objevované a formulované tzv. formální zákony. [6]

Formální a existenční zákony mají všeobecnou platnost. Tyto zákony se uplatňují jak při vytváření geometrických, tak i materiálových vlastností součástek a jiných objektů. Fyzikální zákony mají přírodovědný charakter a platí při vytváření geometrických vlastností objektů. Patří k přírodním zákonům výroby předmětů při chemických a biologických zákonech. Bližší základní myšlenky jednotlivých zákonů jsou znázorněny v Tab. 4.3. [1]

Tab. 4.3: Zákony kreatiky [6]

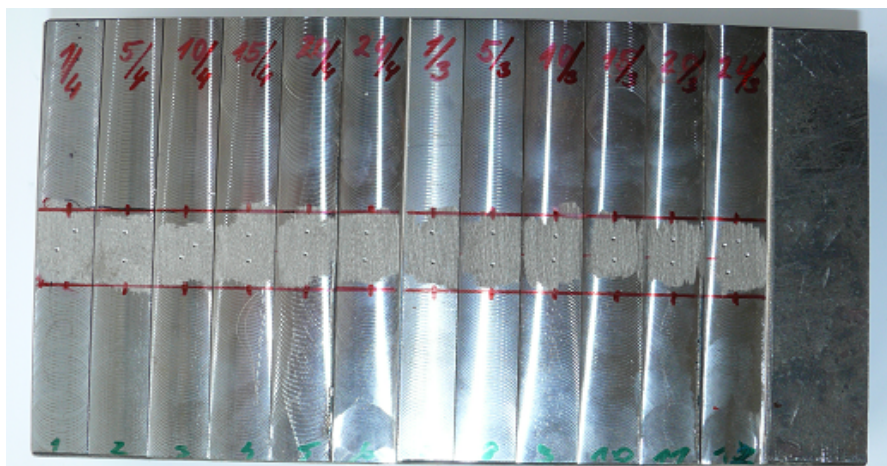
FORMÁLNÍ	FYZIKÁLNÍ	EXISTENČNÍ
Úplnost	Vznik tvaru	Přežití
Jednoznačnost	Vznik rozměrů	Max. přiměřený zisk
Uspořádanost	Vzájemné polohy	Úspora času, energie, mat.
Reciprocita modelu	Pořádání úkonů	Šetření přírody

5 Aplikace zákonů kreatiky na konkrétním příkladu

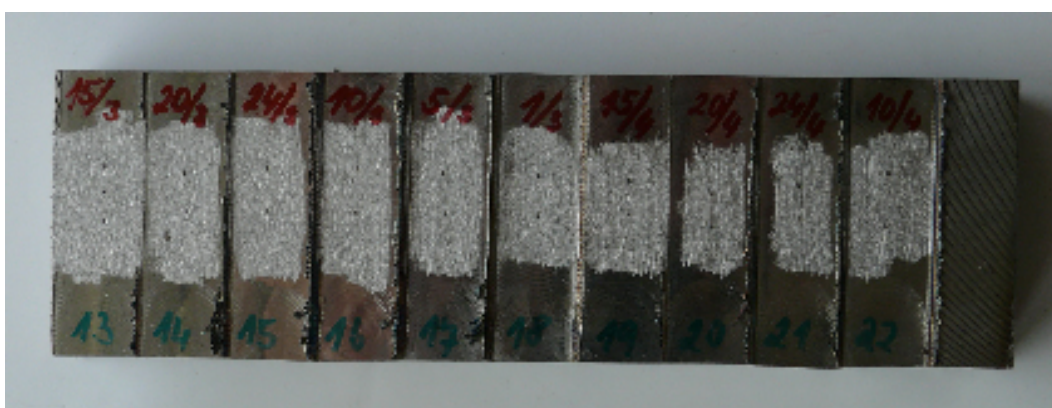
Naším úkolem bude ověřit vliv vysokorychlostního frézování na kvalitu obrobeného povrchu. Takto aplikujeme zákony kreatiky na konkrétní příklad.

Experimentální část práce byla provedena za spolupráce Institute of Mechanical Technology z Poznan University of Technology v Polsku.

Při experimentální části byla hodnocena drsnost povrchu v závislosti na navržených řezných parametrech a použitých řezných nástrojích. Pro experiment byly použity oceli 12050.1 (Obr. 5.1), což je etalon ve třídě obrobitelnosti pro oceli, dále ocel ASP 2023 (Obr. 5.2), což je ocel nástrojová a ocel 15 128 (Obr. 5.3).



Obr. 5.1 - Vzorek materiálu oceli 12 050.1



Obr. 5.2 - Vzorek materiálu oceli ASP 2023



Obr. 5.3 - Vzorek materiálu oceli 15 128

5.1 Použitý stroj

Pro experiment bylo použito univerzální 5-ti osé CNC frézovací centrum DMU 60 MonoBlock® (Obr. 5.4) s NC otočným stolem firmy Deckel Maho. Frézovací centrum DMU 60 MonoBlock® patří mezi vysoce produktivní obráběcí stroje se zajištěnou požadovanou přesností. Zaručuje požadované technické parametry jako je výkon, tuhost soustavy stroj, nástroj a obrobek. Stroj je vybaven DMG řídicím panelem s 15" TFT obrazovkou a 3D softwarem. Řídicím systémem stroje je Heidenhain iTNC 530. technické parametry stroje jsou popsány v Tab. 5.1.



Obr. 5.4 Univerzální frézovací centrum DMU 60 monoBLOCK® [8]

Tab. 5.1: Vybrané technické parametry stroje DMU 60 monoBLOCK® [9]

Technický údaj	Hodnota	Jednotka
Počet os	5	
Pracovní rozsah X x Y x Z	730 x 560 x 560	mm
Rozsah otáček	1 – 24 000	min ⁻¹
Rychloposuv	30	m·min ⁻¹
Výkon	15	kW
Plocha stolu	1000 x 600	mm
Řídicí systém	Heidenhaim iTNC 530	

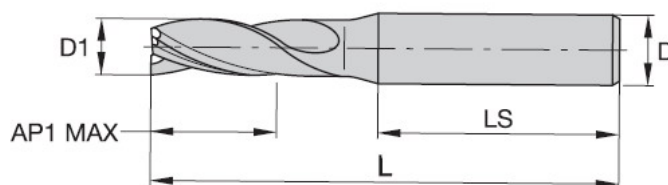
Pro ustavení obrobku byla použita optická strojní sonda RENISHAW OMP60 s optickým systémem OMI-2. OMP60 je sonda určená k použití ve středních až velkých obráběcích a frézovacích centrech.

5.2 Použité nástroje

K provádění experimentu byly použity frézy od společnosti Kennametal Europe GmbH. Společnost Kennametal je řazena mezi přední světové dodavatele nástrojů. Konkrétně byly použity frézy s označením F3AH1800ADL30, F4AJ1800ADN30 a F3AH1600ADL30.

Popis frézy F3AH1800ADL30

Tato karbidová tříbřitá stopková fréza o průměru 18 mm má stoupání šroubovice 30°. Rozměry frézy jsou uvedeny na obr. 5.5 a v tab. 5.2. Použití frézy je vhodné pro vysokoproduktivní obrábění díky tuhému tělesu a konstrukci s dostatečně velkou zubovou mezerou, která zaručuje bezproblémový odvod třísek i při vysokých rychlostech řezání. Nástroj je vhodný také pro dokončovací frézování. Primárně je fréza určena pro obrábění materiálů P, M, K, S a alternativně pro obrábění materiálů N. [7]



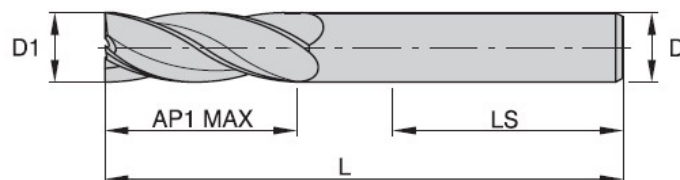
Obr. 5.5 Fréza F3AH1800ADL30 [7]

Tab. 5.2: Rozměry frézy F3AH1600ADL30 [7]

D1 [mm]	D [mm]	AP1 MAX [mm]	LS [mm]	L [mm]
18	18	26	48	92

Popis frézy F4AJ1800ADN30

Jedná se o karbidovou čtyřbřitou stopkovou frézu o průměru 18 mm se stoupáním šroubovice 30° (Obr. 5.6). Použití frézy je obdobné jako u frézy F3AH1600ADL30. Rozměry frézy jsou tabelovány v tab. 5.3. [7]



Obr. 5.6 Fréza F4AJ1800ADN30 [7]

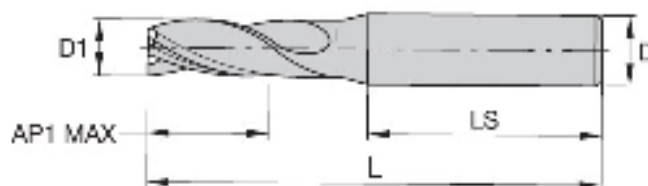
Tab. 5.3: Rozměry frézy F4AJ1800ADN30 [7]

D1 [mm]	D [mm]	AP1 MAX [mm]	LS [mm]	L [mm]
18	18	32	48	92

Popis frézy F3AH1600ADL30

Jedná se o karbidovou tříbřitou stopkovou frézu o průměru 16 mm se stoupáním šroubovice 30° (Obr. 5.7). Použití frézy je vhodné pro vysokoproduktivní

obrábění díky tuhému tělesu a konstrukci s dostatečně velkou zubovou mezerou, která zaručuje bezproblémový odvod třísek. Rozměry frézy jsou tabelovány v tab. 5.4. [7]



Obr. 5.7 Fréza F3AH1600ADL30 [7]

Tab. 5.4: Rozměry frézy F3AH1600ADL30 [7]

D1 [mm]	D [mm]	AP1 MAX [mm]	LS [mm]	L [mm]
16	16	26	48	92

Všechny použité frézy jsou celokarbidové s PVD vícevrstevným povlakováním vrstvami TiN, TiCN a TiC. Ve srovnání s chemickou metodou povlakování CVD dosahuje fyzikálně nanesený PVD povlak TiN velmi výrazně lepších výsledků z hlediska opotřebení břitu nástroje. Uvedené povlaky se používají zpravidla pro tvrdé a suché obrábění. Pro HSC musí být systémy povlaků zpravidla s co nejmenší tloušťkou, často < 10 μm neboť větší tloušťky zvětšují zaoblení řezné hrany, což negativně působí na přesnost, drsnost a celkově na proces řezání.

5.3 Zkušební materiál

Ocel 12 050.1

Uhlíková ocel k zušlechťování a povrchovému kalení. Materiál 12 050.1 je normalizačně žíhaný (ČSN 41 2050). Chemické složení oceli je uvedeno v tab. 5.5.

Tab. 5.5: Chemické složení oceli 12 050.1 [10]

Obsah prvků	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
[%]	0,42	0,50	0,17	max	max	max	max	max
	0,50	0,80	0,37	0,25	0,30	0,30	0,040	0,040

Materiálem je uklidněná ocel, která je vhodná na hřídele těžebních strojů, turbokompresorů, karuselů, na větší ozubená kola, šneky, ozubené věnce, rotory šroubových kompresorů, ojnice, pístnice, vřetena a písty kompresorů. [10]

Ocel ASP 2023

Ocel ASP 2023 je bezkobaltová rychlořezná ocel pro vysokovýkonné nástroje a pro práci za studena vyrobená práškovou metalurgií. Řadu ASP 2000 dodává pro Bohdan Bolzano Steel a. s. výrobce Erasteel (Švédsko, Francie). Jedná se o materiál s vysokou pevností, houževnatostí a odolností proti otěru. Materiál se dodává standardně s tvrdostí 62 HRC. Chemické složení je uvedeno v tab. 5.6.

Tab. 5.6: Chemické složení oceli ASP 2023 [10]

Obsah prvků	C	Cr	Mo	W	Co	V
[%]	1,28	4,1	5,0	6,4	-	3,1

Používá se na nástroje pro ražení, raznice pro děrování, nástroje pro protlačování za studena, nástroje pro jemné stříhání, stříhadla a nástroje pro výrobu šroubů a matic.

Ocel 15 128

Tato ocel je dobře svařitelná i obrobitelná. Vhodná k zušlechťování. Chemické složení oceli je uvedeno v tab. 5.7.

Tab. 5.7: Chemické složení oceli 15 128 [10]

Obsah prvků	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	P	S
[%]	0,10	0,45	0,15	0,50	0,40	0,22	max	max
	0,18	0,70	0,40	0,75	0,60	0,35	0,040	0,040

Použití: Ocel náleží do kategorie nízkolegovaných svařitelných žárupevných ocelí. Ocel je charakteristická zvýšenou žárupevností, garantovanou výrobcem v teplotní oblasti do 600°C. Používá se především na kotlové trubky. [10]

5.4 Řezné podmínky

V provedeném experimentu byl ověřován vliv vysokorychlostního frézování na kvalitu obrobeného povrchu. Použité řezné parametry jsou uvedeny v tab. 5.8 až 5.10. Experiment byl prováděn na frézovacím centru DMU 60 monoBLOCK. Způsob frézování byl volen sousledný.

K prvnímu experimentu byl použit zkušební materiál 12 050.1, který je zobrazen na obr. 5.1. Na tomto materiálu se frézovala plocha 1 až 12 o šířce 16 mm. Plocha 1 až 6 byla frézována čtyřbřitou frézou F4AJ1800ADN30. Hloubka řezu byla stanovena s ohledem na uplatnění technologie při dokončování $a_p=0,25\text{mm}$, $f_z=0,25\text{mm}$. Plochy 7 až 12 byly frézovány tříbřitou frézou F3AH1800ADL30. Hloubka řezu byla konstantní s ohledem na uplatnění technologie při dokončování $a_p=0,25\text{mm}$, $f_z=0,33\text{mm}$.

Druhým zkušebním materiálem byla nástrojová ocel ASP 2023, která je zobrazena na obr. 5.3. Na oceli ASP byly frézovány plochy 13 až 22 o šířce 16mm. Plochy 13 až 18 frézovány tříbřitou frézou F3AH1800ADL30. Hloubka řezu byla stanovena s ohledem na uplatnění technologie při dokončování $a_p=0,25\text{mm}$, $f_z=0,33\text{mm}$. Plochy 19 až 22 byly frézovány čtyřbřitou frézou F4AJ1800ADN30. Hloubka řezu byla konstantní s ohledem na uplatnění technologie při dokončování $a_p=0,25\text{mm}$, $f_z=0,25\text{mm}$. Zde se frézovaly pouze 4 plochy z důvodu opotřebení nástroje.

Třetím zkušebním materiálem byla nástrojová ocel 15 128, která je zobrazena na obr. 5.2. Na oceli 15 128 byly frézovány plochy 23 až 32 o šířce 16mm. Plocha 23 až 27 byla frézována čtyřbřitou frézou F4AJ1800ADN30. Hloubka řezu byla stanovena s ohledem na uplatnění technologie při dokončování $a_p=0,25\text{mm}$, $f_z=0,25\text{mm}$. Plochy 28 až 32 byly frézovány tříbřitou frézou F3AH1600ADL30. Hloubka řezu byla konstantní s ohledem na uplatnění technologie při dokončování $a_p=0,25\text{mm}$, $f_z=0,33\text{mm}$.

Po vysokorychlostním obrábění bylo cílem ověřit kvalitu obrobeného povrchu. Zkouška drsnosti všech 32 ploch v podélném a příčném směru k vektoru posuvu bylo provedeno v laboratoři Katedry obrábění a montáže Fakulty strojní VŠB-TU Ostrava.

Tab. 5.8: Řezné parametry použité při experimentu pro ocel 12050.1

Ocel 12050.1 (1. část)			Ocel 12050.1 (2. část)		
$a_p=0,25\text{mm}; f_z=0,25\text{mm}; D_1=18\text{mm}; z=4$			$a_p=0,25\text{mm}; f_z=0,33\text{mm}; D_1=18\text{mm}; z=3$		
Plocha	Rychlost posuvu v_f	otáčky n	Plocha	Rychlost posuvu v_f	otáčky n
	$[\text{m}\cdot\text{min}^{-1}]$	$[\text{min}^{-1}]$		$[\text{m}\cdot\text{min}^{-1}]$	$[\text{min}^{-1}]$
1	1	1000	7	1	1000
2	5	5000	8	5	5000
3	10	10000	9	10	10000
4	15	15000	10	15	15000
5	20	20000	11	20	20000
6	24	24000	12	24	24000

Tab. 5.9: Řezné parametry použité při experimentu pro ocel ASP 2023

Ocel ASP 2023 (1. část)			Ocel ASP 2023 (2. část)		
$a_p=0,25\text{ mm}; f_z=0,33\text{ mm}; D_1=16\text{ mm}; z=3$			$a_p=0,25\text{ mm}; f_z=0,25\text{ mm}; D_1=18\text{ mm}; z=4$		
Plocha	Rychlost posuvu v_f	otáčky n	Plocha	Rychlost posuvu v_f	otáčky n
	$[\text{m}\cdot\text{min}^{-1}]$	$[\text{min}^{-1}]$		$[\text{m}\cdot\text{min}^{-1}]$	$[\text{min}^{-1}]$
13	15	15000	19	15	15000
14	20	20000	20	20	20000
15	24	24000	21	24	24000
16	10	10000	22	10	10000
17	5	5000			
18	1	1000			

Tab. 5.10: Řezné parametry použité při experimentu pro ocel 15128

Ocel 15128 (1. část)			Ocel 15128 (2. část)		
$a_p=0,25\text{mm}; f_z=0,25\text{mm}; D_1=18\text{mm}; z=4$			$a_p=0,25\text{mm}; f_z=0,33\text{mm}; D_1=16\text{mm}; z=3$		
Plocha	Rychlost posuvu v_f	otáčky n	Plocha	Rychlost posuvu v_f	otáčky n
	$[\text{m}\cdot\text{min}^{-1}]$	$[\text{min}^{-1}]$		$[\text{m}\cdot\text{min}^{-1}]$	$[\text{min}^{-1}]$
23	5	5000	28	5	5000
24	10	10000	29	10	10000
25	15	15000	30	15	15000
26	20	20000	31	20	20000
27	24	24000	32	24	24000

5.5 Stanovení drsnosti povrchu

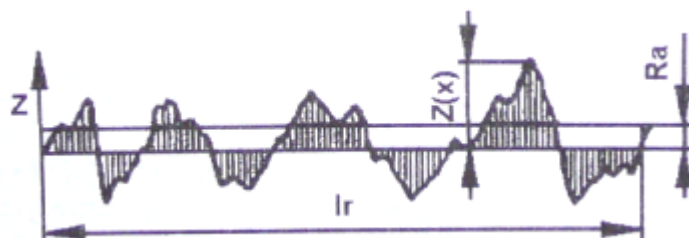
5.5.1 Parametry drsnosti povrchu

Parametry drsnosti povrchu jsou předepsány normou ČSN EN ISO 4287. Předmětem experimentu bylo vyhodnocení výškových parametrů R_a a R_z .

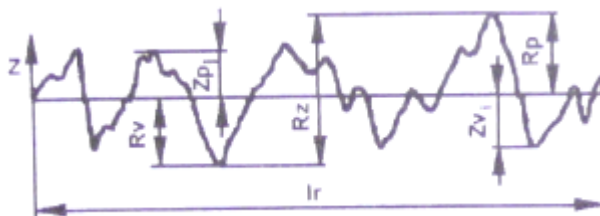
Výškové (amplitudové) parametry

Střední aritmetická úchylka profilu R_a – aritmetický průměr absolutních hodnot souřadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r (viz obr. 5.8). Vypovídací schopnost parametru R_a je nízká. R_a nereaguje citlivě na extrémní výšky hrotů profilu a hloubky rýh profilu. [11]

Největší výška profilu R_z – součet výšky Z_p největšího výstupku a hloubky Z_v nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky l_r (viz obr. 5.9). [11]



Obr. 5.8 Parametr R_a [11]



Obr. 5.9 Parametr R_z [11]

5.5.2 Použité zařízení pro měření drsnosti vzorků

Měření parametrů drsnosti povrchu bylo provedeno na dotykovém měřicím přístroji - drsnoměru SurfTest SJ-401 společnosti MITUTOYO (viz obr. 5.10) v prostorách Katedry obrábění a montáže Fakulty strojní VŠB-TU Ostrava.

SJ-401 je dotykový (hrotový) přístroj pro měření drsnosti povrchů určený pro dílenské použití. Přístroj SJ-401 umožňuje hodnocení struktury povrchu, vlnitosti povrchu a mnoha dalších parametrů podle různých národních a mezinárodních norem. Vyhodnocuje až 46 parametrů. Naměřené hodnoty se zobrazují digitálně nebo graficky na dotykovém displeji, s možností výstupu na zabudované tiskárně.

Základní technické parametry drsnoměru SJ-401 jsou uvedeny v tab. 5.11.

Tab. 5.11: Technické parametry drsnoměru [12]

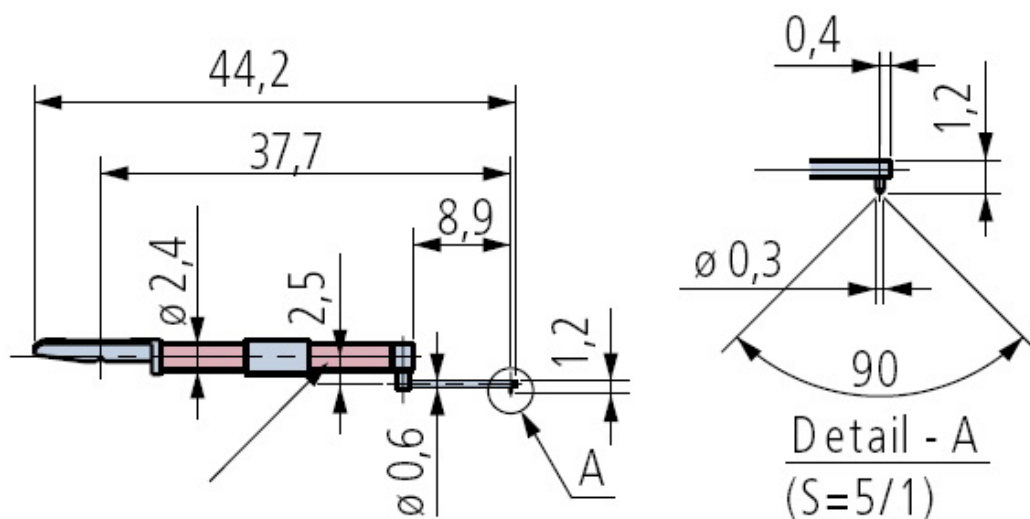
Rozsah osy X (posuv):	25 mm
Rozsah osy Z (zdvih):	800 μ m
Měřicí rychlost:	0,05; 0,1; 0,5; 1,0 mm/s
Zpáteční rychlost:	0,5; 1,0; 2,0 mm/s
Posuv (rozsah osy X):	25 mm (SJ-401) a 50 mm (SJ-402)
Zdvih (rozsah osy Z):	800 mm
Provozní teplota:	5 °C až 35 °C
Relativní vlhkost:	85 % relativní vlhkosti



Obr. 5.10 Použitý měřicí přístroj pro měření drsnosti povrchu vzorků [12]

Použitý snímací dotek

Bylo použito provedení snímače s označením 12AAC733 a rádius hrotu snímače $2\text{ }\mu\text{m}$ (viz obr. 5.11). Minimální rozlišení je $0,000125\text{ }\mu\text{m}$, měřicí síla 4 mN .



Obr. 5.11 Snímací dotek 12AAC733 [12]

Princip měření drsnosti povrchů přístrojem SJ-401

Dotkový hrot snímací jednotky přístroje SJ-400 zaznamenává drobné nepravidelnosti povrchu měřeného výrobku. Drsnost povrchu se stanoví na základě vertikálního posunu dotkového hrotu způsobeného přejížděním hrotu po povrchu. Parametry měření byly následující:

- základní délka profilu (cut-off) $l_r = 0,8\text{ mm}$;
- rychlost snímání: $0,5\text{ mm.s}$;
- použitý filtr: Gaussův.

Vyhodnocování dat

K vyhodnocení dat byl použit software SJ-Tools použitelný pro drsnoměry SJ-201, SJ-301, SJ-401, SJ-401. Vyhodnocovací software je vytvořen na bázi programu Excel firmy Microsoft. Umožňuje tedy řízení měřicího přístroje, definici podmínek měření, grafické zobrazení profilu měření, archivaci měřicího protokolu a dokumentaci naměřených výsledků.

K správnému vyhodnocení měření drsnosti povrchu, musíme k výsledku vypočítat nejistotu, tzn. stanovit, s jakou nejistotou bylo toto měření prováděno.

5.5.3 Testování hodnot podezřelých na zatížení hrubou chybou

Hrubé chyby, které vznikají nesprávným provedením měření, nesprávným odečtením měření, nesprávným způsobem zpracování, vadou přístroje, nesprávnou manipulací s měřidlem, musí být ze souboru naměřených hodnot vyloučeny. V našem případě se však taková hrubá chyba po přepočítání nevyskytla.

- 1) Ze souboru naměřených hodnot $x_1 < x_2 < \dots < x_n$ se vypočítá hodnota

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

kde: \bar{x} - je střední hodnota

n - je rozsah výběru

a výběrová směrodatná odchylka

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

kde: $s(x)$ - je výběrová směrodatná odchylka

\bar{x} - je střední hodnota

x_i - je naměřená hodnota

n - je rozsah výběru

- 2) Pro posouzení odlehlosti podezřelých hodnot souboru (x_2, x_n) se vypočítají normované hodnoty H_2, H_n ($x_2 < \bar{x}, x_n > \bar{x}$):

$$H_2 = \frac{\bar{x} - x_2}{s(x)}, \quad (11.3) \text{ a případně } H_n = \frac{x_n - \bar{x}}{s(x)}$$

kde: H_2, H_n - normované hodnoty

$s(x)$ - je výběrová směrodatná odchylka

\bar{x} - je střední hodnota

x_i - je naměřená hodnota

n - je rozsah výběru

- 3) Z tabulek se určí mezní hodnota H pro předem stanovenou pravděpodobnost p a počet měření v souboru n . Mezní hodnota pro pravděpodobnost $p = 95\%$ a pro počet měření $n = 5$ činí $H = 2,18$.

- 4) Za předpokladu, že $H_2 < H$ a $H_n < H$ hodnota x_2 není zatížena hrubou chybou a ponechává se v souboru, ale hodnota x_n je ovlivněna chybou a ze souboru naměřených hodnot se vyloučí.

5.5.4 Nejistoty měření a jejich vyjadřování

Pojem nejistota je relativně nový a v současné době velmi aktuální. Nejistotou se rozumí parametr charakterizující rozsah (interval) hodnot kolem výsledku měření, který můžeme odůvodněně přiřadit hodnotě měřené veličiny. Může se týkat výsledku měření, ale také hodno odečtených na použitých přístrojích, hodnot použitých konstant, korekce atd., na kterých nejistota výsledku závisí. Základní charakteristikou nejistoty je standardní nejistota u , která je vyjádřena hodnotou směrodatné odchylky $s_{(x)}$, při normálním rozdělení: $p=68,27\%$. [11]

Standardní nejistota typu A (u_A)

jsou získané z opakovaných měření, jejich hodnota s počtem měření klesá

$$u_A = S\left(\bar{x}\right) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n - 1)}}$$

Standardní nejistota typu B (u_B)

jejich hodnota nezávisí na počtu měření, metodika určování této nejistoty je metodika určování standardní nejistoty vázané na výběrový průměr je určena jiným způsobem nikoliv výpočtem směrodatné odchylky z opakovaných měření. Postup stanovení – vytipování možných zdrojů těchto nejistot – určení standardních nejistot (převzetím, odhad)vzájemně nezávislé zdroje

Kombinovaná standardní nejistota

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

Vyjádření výsledku měření – nutno uvádět nejistotu na 2 platná čísla. Celý

výpočet nejistoty se musí provést s nezaokrouhlenými hodnotami, až pak se provádí zaokrouhlení (ČSN 01 1010) např. $L=58,65\text{mm}\pm 0,12\text{mm}$ [20]. [11]

5.6 Vyhodnocení drsnosti povrchu

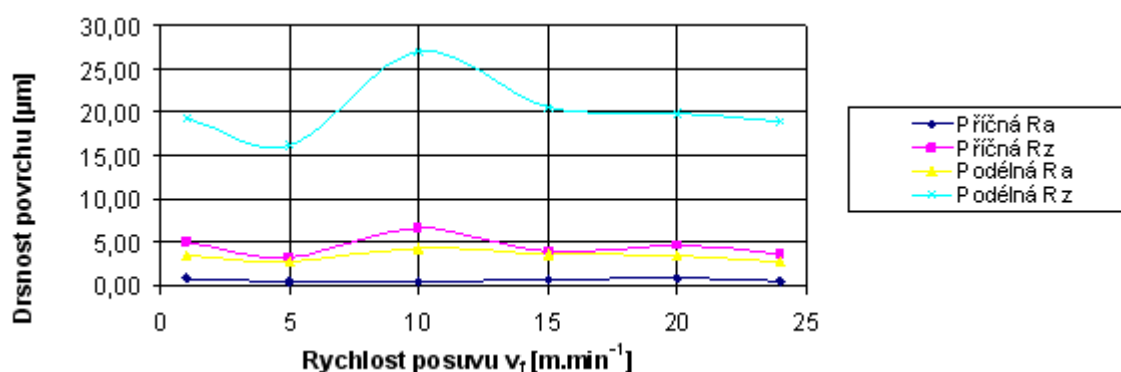
Předmětem experimentu bylo posoudit parametry drsnosti R_a a R_z , a to v podélném a příčném řezu ve směru vektoru posuvu. V následujících tabulkách a grafech jsou vyneseny dosažené parametry drsnosti povrchu pro zkoušené materiály 12 050.1, ASP 2023 a 15 128 při obrábění tříbřitou a čtyřbřitou stopkovou frézou.

Tab. 5.12: Hodnoty parametru drsnosti R_a materiálu 12050.1 při obrábění čtyřbřitou frézou

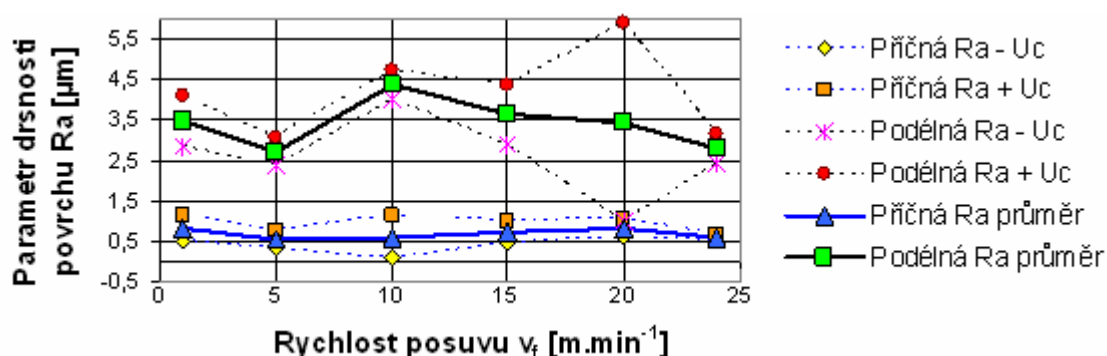
Parametr drsnosti R_a						
pl. č.	v_f	příčný směr			podélný směr	
		R_a			R_a	
-	[m/min]	[μm]			[μm]	
1	1	0,81	\pm	0,30	3,47	\pm 0,62
2	5	0,54	\pm	0,22	2,71	\pm 0,34
3	10	0,60	\pm	0,51	4,39	\pm 0,36
4	15	0,73	\pm	0,27	3,63	\pm 0,75
5	20	0,81	\pm	0,21	3,44	\pm 2,46
6	24	0,60	\pm	0,08	2,79	\pm 0,36

Tab. 5.13: Hodnoty parametru drsnosti R_z materiálu 12050.1 při obrábění čtyřbřitou frézou

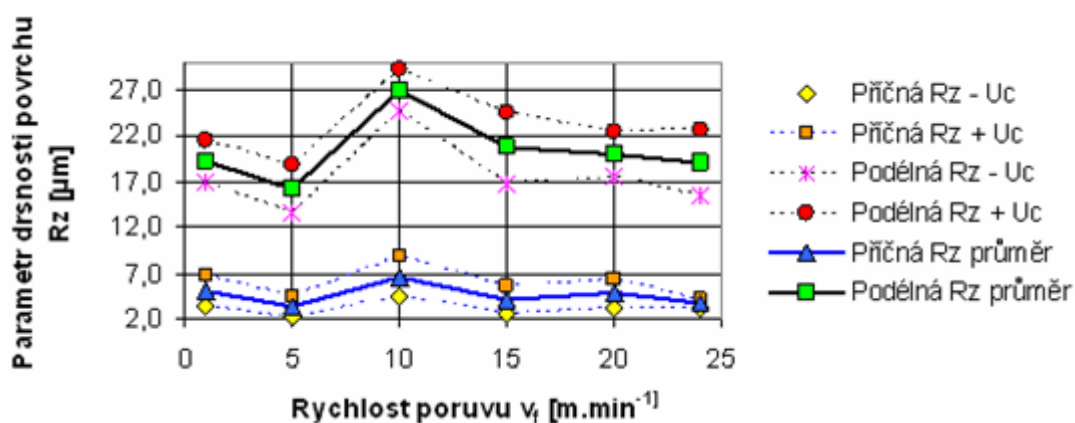
Parametr drsnosti R_z						
pl. č.	v_f	příčný směr			podélný směr	
		R_z			R_z	
-	[m/min]	[μm]			[μm]	
1	1	5,04	\pm	1,72	19,28	\pm 2,25
2	5	3,28	\pm	1,16	16,18	\pm 2,71
3	10	6,62	\pm	2,15	27,06	\pm 2,28
4	15	4,06	\pm	1,53	20,66	\pm 3,87
5	20	4,76	\pm	1,58	19,90	\pm 2,46
6	24	3,66	\pm	0,45	18,98	\pm 3,56



Obr. 5.12 - Graf dosažené drsnosti povrchu pro materiál 12050.1 při obrábění čtyřbřitou frézou



Obr. 5.13 - Graf závislosti drsnosti Ra na rychlosti posuvu pro materiál 12050.1 při obrábění čtyřbřitou frézou



Obr. 5.14 - Graf závislosti drsnosti Rz na rychlosti posuvu pro materiál 12050.1 při obrábění čtyřbřitou frézou

Z grafu na obrázku 5.12 je patrné, že při posuvové rychlosti 10 m.min⁻¹ je dosahováno nejhorších hodnot parametrů drsnosti. Po překročení této rychlosti dochází ke zlepšení kvality obrobeneho povrchu. Nejlepších parametrů drsnosti je

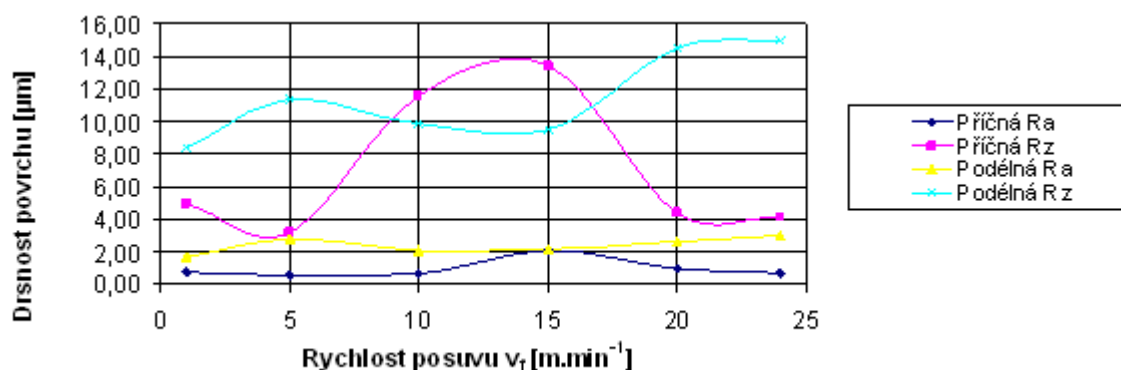
dosahováno při rychlosti posuvu $5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Vysokorychlostním frézováním dosáhneme kratších strojních časů a jak vyplývá z obrázku 5.12 i lepších parametrů obrobeneé plochy.

Tab. 5.14: Hodnoty parametru drsnosti R_a materiálu 12050.1 při obrábění tříbřitou frézou

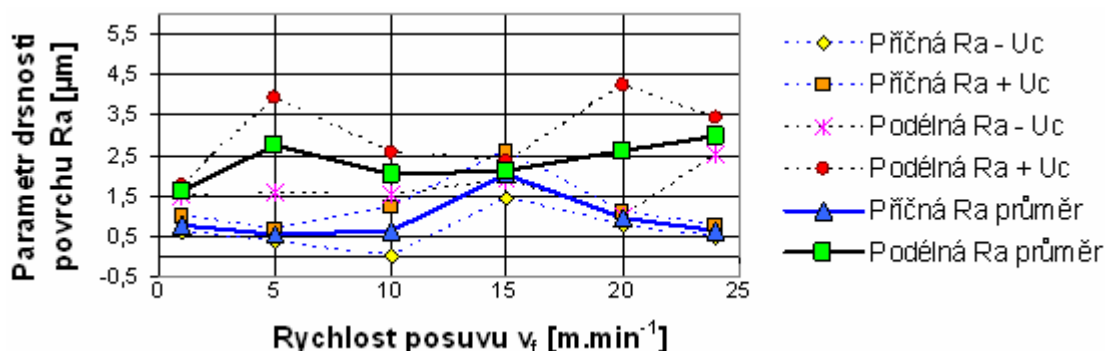
Parametr drsnosti R_a						
pl. č.	v_f	příčný směr		podélný směr		
		R_a		R_a		
-	[m/min]	[μm]		[μm]		
7	1	0,78	$\pm 0,20$	1,63	$\pm 0,12$	
8	5	0,53	$\pm 0,15$	2,75	$\pm 1,16$	
9	10	0,61	$\pm 0,62$	2,04	$\pm 0,52$	
10	15	2,03	$\pm 0,60$	2,11	$\pm 0,21$	
11	20	0,92	$\pm 0,14$	2,60	$\pm 1,63$	
12	24	0,61	$\pm 0,15$	2,98	$\pm 0,47$	

Tab. 5.15: Hodnoty parametru drsnosti R_z materiálu 12050.1 při obrábění tříbřitou frézou

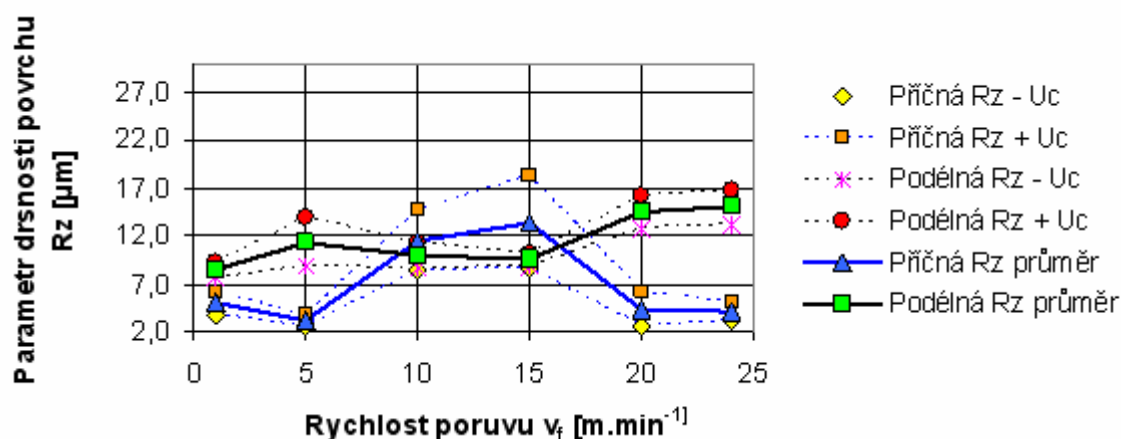
Parametr drsnosti R_z						
pl. č.	v_f	příčný směr		podélný směr		
		R_z		R_z		
-	[m/min]	[μm]		[μm]		
7	1	4,94	$\pm 1,19$	8,40	$\pm 0,71$	
8	5	3,14	$\pm 0,65$	11,34	$\pm 2,56$	
9	10	11,50	$\pm 3,15$	9,90	$\pm 1,30$	
10	15	13,42	$\pm 4,83$	9,48	$\pm 0,72$	
11	20	4,34	$\pm 1,83$	14,48	$\pm 1,63$	
12	24	4,06	$\pm 0,99$	15,00	$\pm 1,81$	



Obr. 5.15 - Graf dosažené drsnosti povrchu pro materiál 12050.1 při obrábění tříbřitou frézou



Obr. 5.16 - Graf závislosti drsnosti Ra na rychlosti posuvu pro materiál 12050.1 při obrábění tříbřitou frézou



Obr. 5.17 - Graf závislosti drsnosti Rz na rychlosti posuvu pro materiál 12050.1 při obrábění tříbřitou frézou

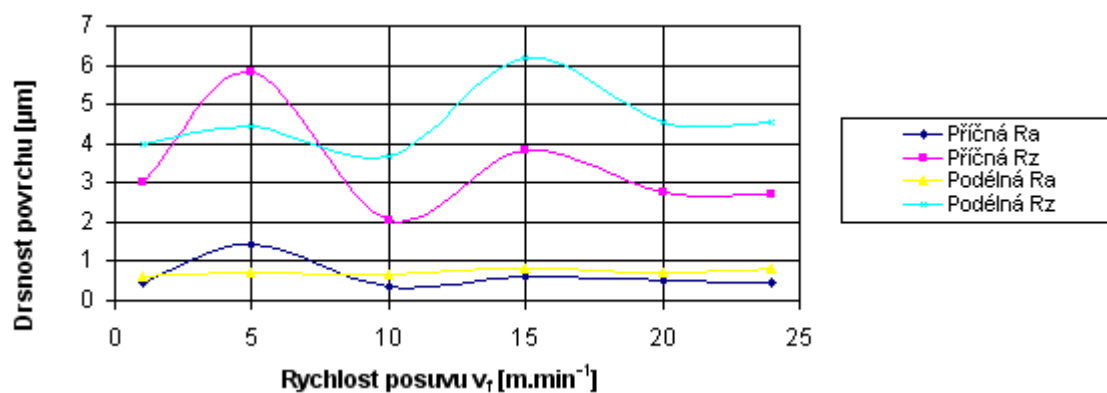
Z grafu na obr. 5.15 vyplývá, že se při frézování zkoušeného materiálu 12 050.1 tříbřitou frézou pohybujeme v menším intervalu hodnot drsnosti povrchu než při obrábění čtyřbřitou frézou. Nejlepších hodnot parametrů drsnosti povrchu dosahujeme při rychlosti posuvu $1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Z hlediska optimalizace a vynaložených nákladů jsou nízké rychlosti posuvu ekonomicky nevýhodné. Proto je výhodnější využít vyšších posuvových rychlostí, jelikož se dosažené parametry drsnosti povrchu při použití vyšších posuvových rychlostí příliš neliší.

Tab. 5.16: Hodnoty parametru drsnosti Ra materiálu ASP 2023 při obrábění tříbřitou frézou

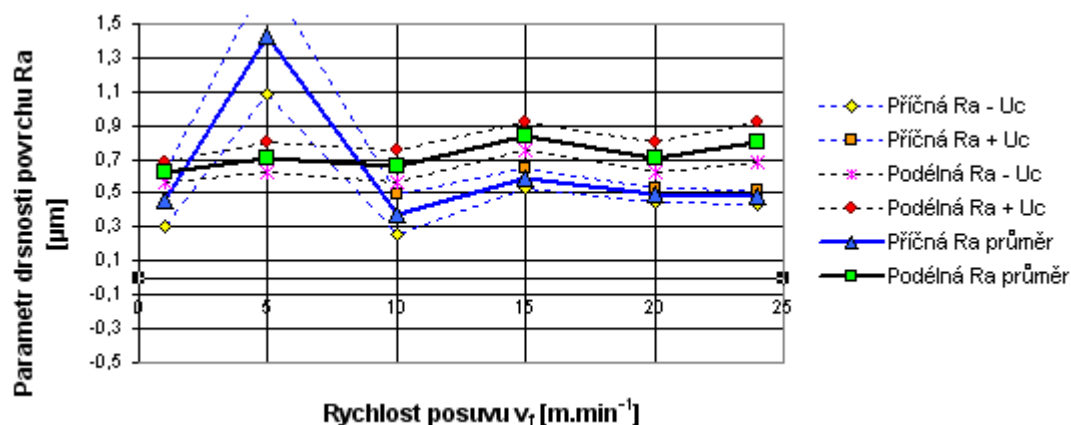
Parametr drsnosti Ra						
pl. č.	v_f	příčný směr			podélný směr	
		Ra			Ra	
-	[m/min]	[μm]			[μm]	
13	15	0,59	\pm	0,06	0,84	\pm 0,08
14	20	0,49	\pm	0,04	0,71	\pm 0,09
15	24	0,48	\pm	0,04	0,80	\pm 0,12
16	10	0,38	\pm	0,12	0,66	\pm 0,09
17	5	1,43	\pm	0,35	0,71	\pm 0,09
18	1	0,46	\pm	0,16	0,62	\pm 0,06

Tab. 5.17: Hodnoty parametru drsnosti Rz materiálu ASP 2023 při obrábění tříbřitou frézou

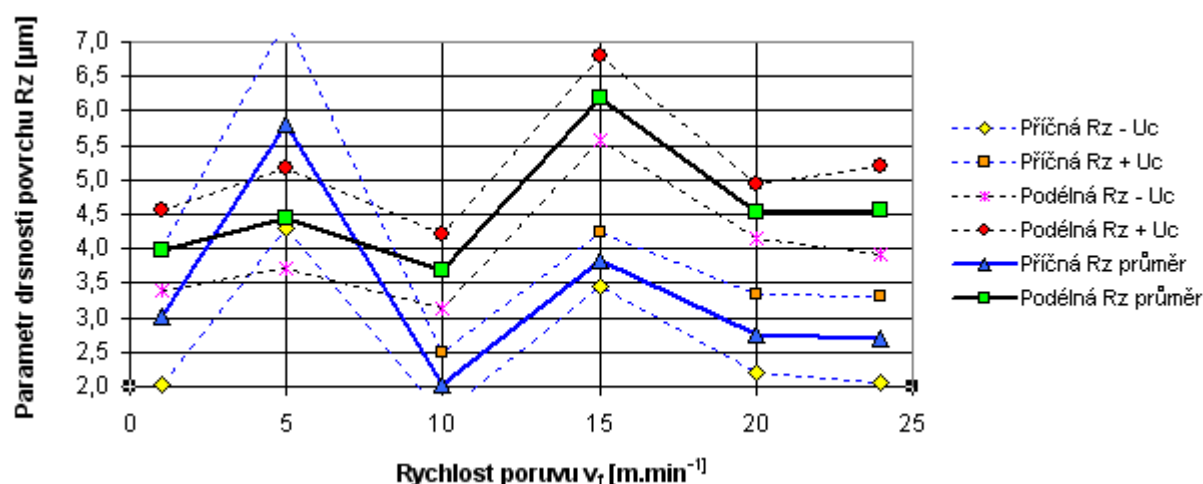
Parametr drsnosti Rz						
pl. č.	v_f	příčný směr			podélný směr	
		Rz			Rz	
-	[m/min]	[μm]			[μm]	
13	15	3,84	\pm	0,39	6,2	\pm 0,61
14	20	2,76	\pm	0,57	4,54	\pm 0,40
15	24	2,69	\pm	0,63	4,56	\pm 0,63
16	10	2,04	\pm	0,45	3,68	\pm 0,54
17	5	5,80	\pm	1,51	4,44	\pm 0,73
18	1	3,02	\pm	0,98	3,98	\pm 0,58



Obr. 5.18 - Graf dosažené drsnosti povrchu pro materiál ASP 2023 při obrábění tříbřitou frézou



Obr. 5.19 - Graf závislosti drsnosti Ra na rychlosti posuvu pro materiál ASP 2023 při obrábění tříbřitou frézou



Obr. 5.20 - Graf závislosti drsnosti Rz na rychlosti posuvu pro materiál ASP 2023 při obrábění tříbřitou frézou

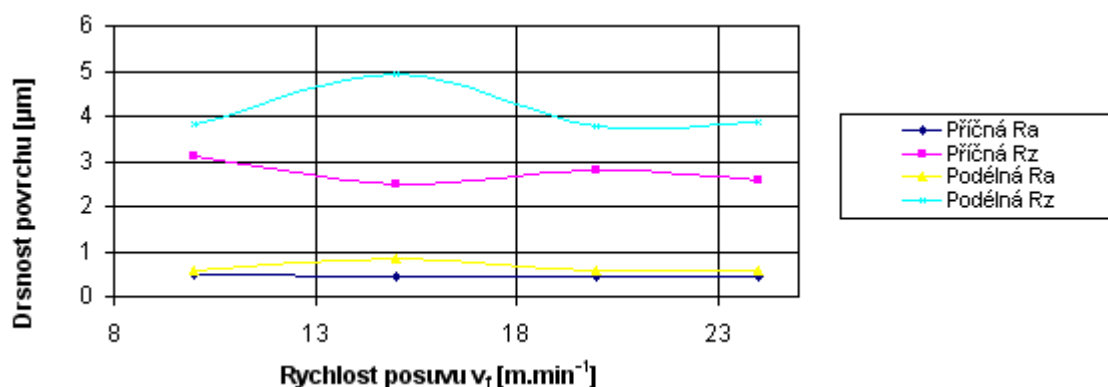
Z grafu na obrázku 5.18 vyplývá, že při posuvové rychlosti 15 m.min^{-1} je dosahováno nejhorších hodnot parametrů drsnosti povrchu. Po překročení této posuvové rychlosti dochází ke snížení parametrů drsnosti povrchu jako při volených nižších rychlostech posuvu. Nejlepších parametrů drsnosti je dosahováno při posuvové rychlosti 24 m.min^{-1} . Tento experiment nám opět potvrdil výhodu vysokorychlostního obrábění, jelikož dochází při této operaci ke snížení strojních časů oproti využití konvenčního obrábění.

Tab. 5.18: Hodnoty parametru drsnosti Ra materiálu ASP 2023 při obrábění čtyřbřitou frézou

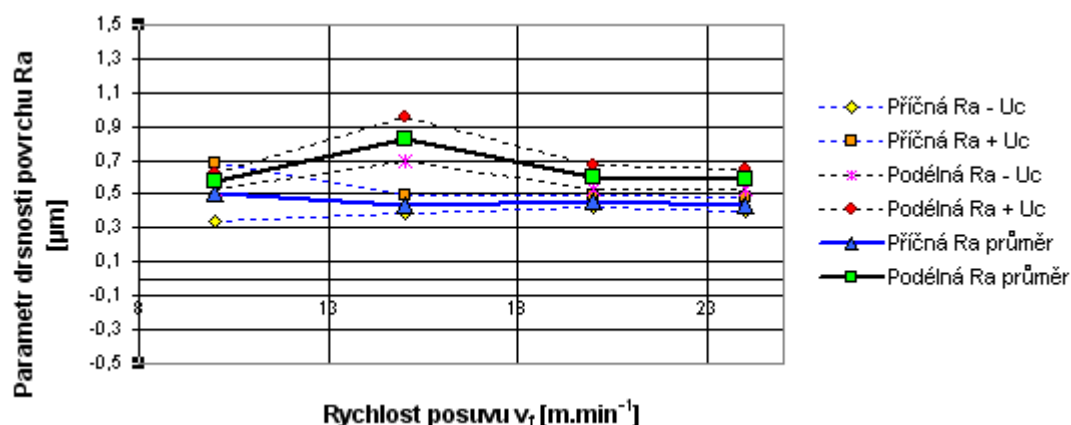
Parametr drsnosti Ra						
pl. č.	v_f	příčný směr			podélný směr	
		Ra			Ra	
-	[m/min]	[μm]			[μm]	
19	15	0,44	\pm	0,05	0,83	\pm 0,13
20	20	0,46	\pm	0,04	0,60	\pm 0,07
21	24	0,44	\pm	0,04	0,59	\pm 0,06
22	10	0,51	\pm	0,17	0,58	\pm 0,05

Tab. 5.19: Hodnoty parametru drsnosti Rz materiálu ASP 2023 při obrábění čtyřbřitou frézou

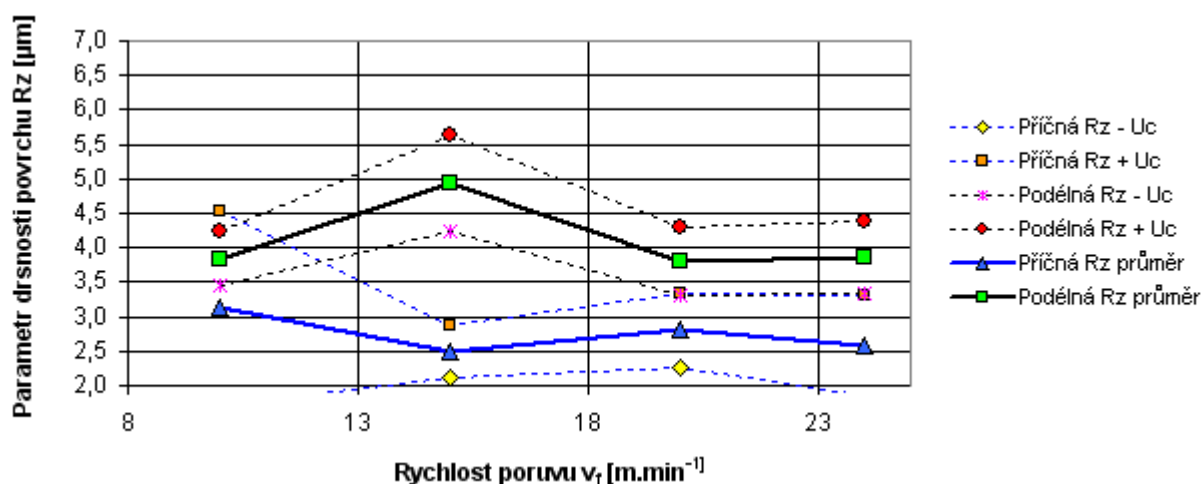
Parametr drsnosti Rz						
pl. č.	v_f	příčný směr			podélný směr	
		Rz			Rz	
-	[m/min]	[μm]			[μm]	
19	15	2,5	\pm	0,38	4,94	\pm 0,69
20	20	2,8	\pm	0,53	3,8	\pm 0,49
21	24	2,58	\pm	0,73	3,86	\pm 0,52
22	10	3,12	\pm	1,40	3,84	\pm 0,40



Obr. 5.21 - Graf dosažené drsnosti povrchu pro materiál ASP 2023 při obrábění čtyřbřitou frézou



Obr. 5.22 - Graf závislosti drsnosti Ra na rychlosti posuvu pro materiál ASP 2023 při obrábění čtyřbřitou frézou



Obr. 5.23 - Graf závislosti drsnosti Rz na rychlosti posuvu pro materiál ASP 2023 při obrábění čtyřbřitou frézou

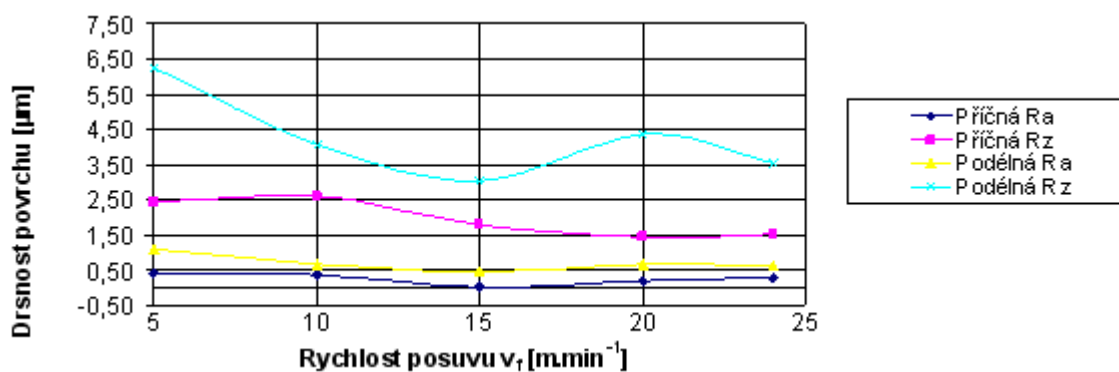
Z grafu na obrázku 5.21 vyplývá, že při posuvové rychlosti 15 m.min^{-1} je dosahováno nejhorších hodnot parametrů drsnosti povrchu. Po překročení této rychlosti posuvu dochází ke snížení naměřených hodnot parametrů drsnosti povrchu jako při nižších rychlostech posuvu. Nejlepších parametrů drsnosti je dosahováno při rychlosti posuvu 24 m.min^{-1} . Tento experiment nám opět potvrdil výhodu vysokorychlostního obrábění.

Tab. 5.20: Hodnoty parametru drsnosti Ra materiálu 15 128 při obrábění čtyřbřitou frézou

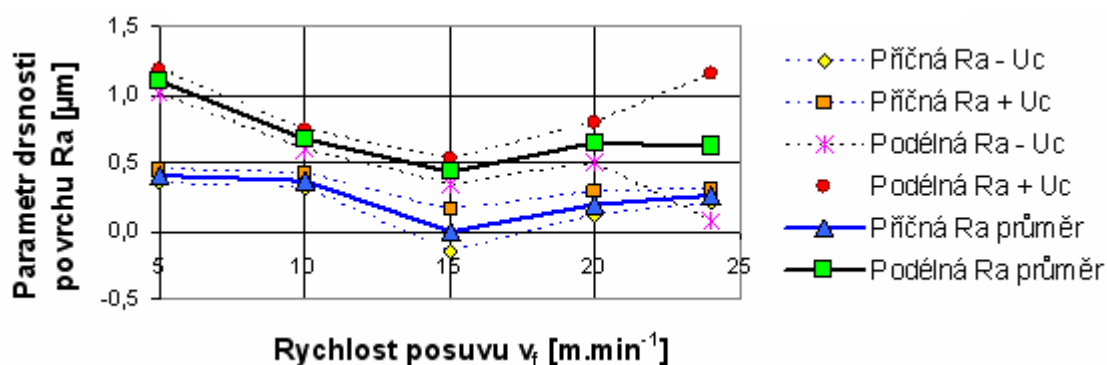
Parametr drsnosti Ra						
pl. č.	v_f	příčný směr			podélný směr	
		Ra			Ra	
-	[m/min]	[μm]			[μm]	
23	5	0,40	\pm	0,05	1,09	\pm 0,09
24	10	0,37	\pm	0,05	0,67	\pm 0,08
25	15	0,00	\pm	0,15	0,43	\pm 0,09
26	20	0,20	\pm	0,09	0,65	\pm 0,14
27	24	0,26	\pm	0,05	0,62	\pm 0,54

Tab. 5.21: Hodnoty parametru drsnosti Rz materiálu 15 128 při obrábění čtyřbřitou frézou

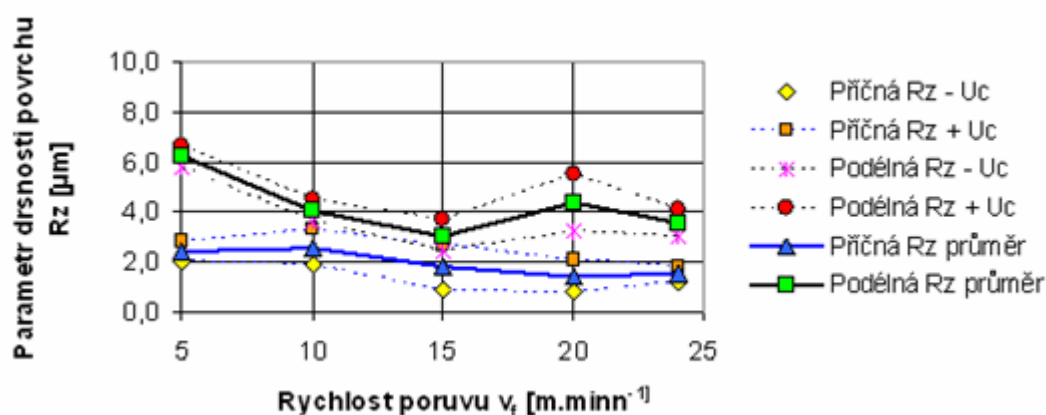
Parametr drsnosti Rz						
pl. č.	v_f	příčný směr			podélný směr	
		Rz			Rz	
-	[m/min]	[μm]			[μm]	
23	5	2,42	\pm	0,43	6,24	\pm 0,44
24	10	2,58	\pm	0,72	4,06	\pm 0,44
25	15	1,78	\pm	0,89	3,04	\pm 0,64
26	20	1,44	\pm	0,64	4,36	\pm 1,13
27	24	1,52	\pm	0,32	3,56	\pm 0,54



Obr. 5.24 - Graf dosažené drsnosti povrchu pro materiál 15 128 při obrábění čtyřbřitou frézou



Obr. 5.25 - Graf závislosti drsnosti R_a na rychlosti posuvu pro materiál 15 128 při obrábění čtyřbřitou frézou



Obr. 5.26 - Graf závislosti drsnosti R_z na rychlosti posuvu pro materiál 15 128 při obrábění čtyřbřitou frézou

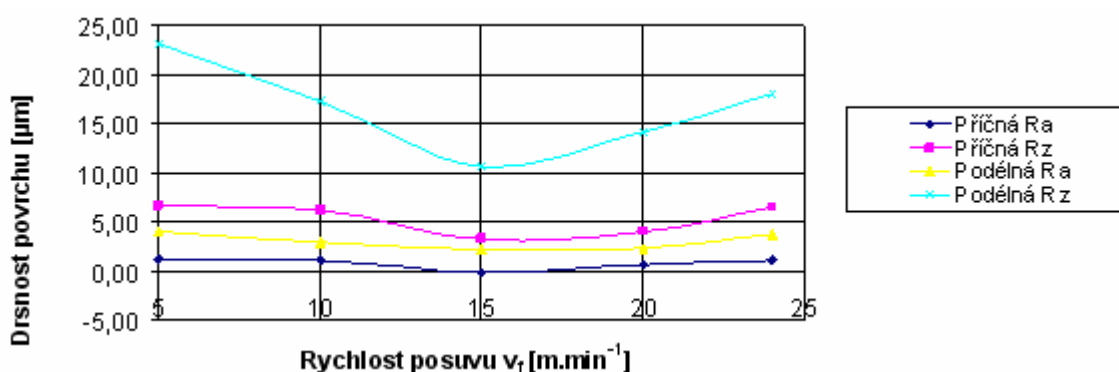
Z grafu na obrázku 5.24 vyplývá, že při posuvové rychlosti 5 m.min^{-1} je dosahováno nejhorších hodnot parametrů drsnosti povrchu. Po překročení této posuvové rychlosti dochází ke snížení parametrů drsnosti. Nejlepších parametrů drsnosti je dosahováno při rychlosti posuvu 15 m.min^{-1} . Tento experiment nám opět potvrdil efekty vysokorychlostního obrábění.

Tab. 5.22: Hodnoty parametru drsnosti Ra materiálu 15 128 při obrábění tříbřitou frézou

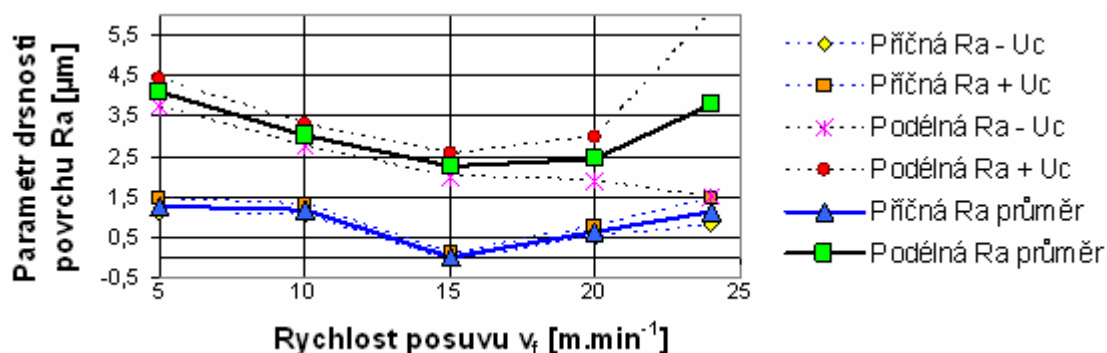
Parametr drsnosti Ra						
pl. č.	v_f	příčný směr		podélný směr		
		Ra		Ra		
-	[m/min]	[μm]		[μm]		
28	5	1,26	\pm 0,16	4,10	\pm 0,34	
29	10	1,16	\pm 0,13	3,01	\pm 0,26	
30	15	0,00	\pm 0,08	2,27	\pm 0,28	
31	20	0,63	\pm 0,13	2,42	\pm 0,53	
32	24	1,12	\pm 0,30	3,77	\pm 2,26	

Tab. 5.23: Hodnoty parametru drsnosti Rz materiálu 15 128 při obrábění tříbřitou frézou

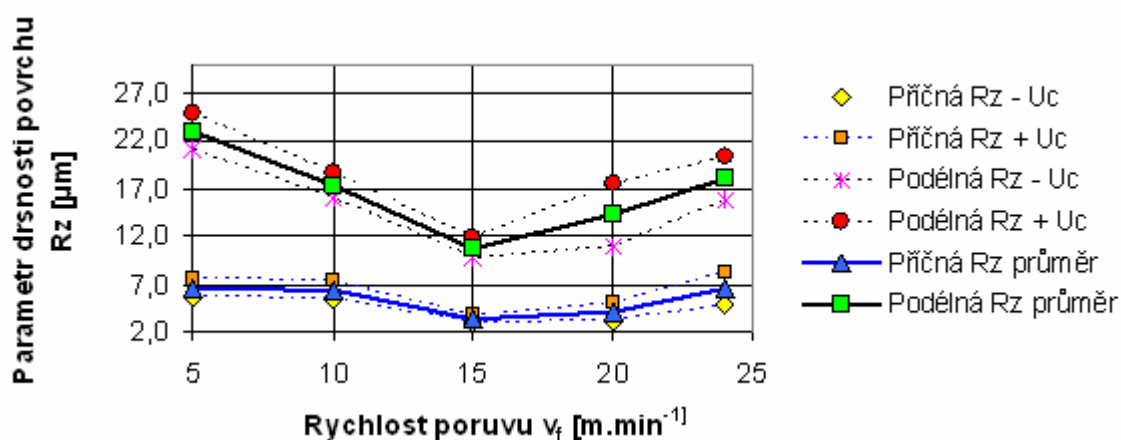
Parametr drsnosti Rz						
pl. č.	v_f	příčný směr		podélný směr		
		Rz		Rz		
-	[m/min]	[μm]		[μm]		
28	5	6,62	\pm 0,96	23,08	\pm 1,88	
29	10	6,28	\pm 0,97	17,38	\pm 1,32	
30	15	3,28	\pm 0,38	10,72	\pm 1,05	
31	20	4,08	\pm 1,02	14,24	\pm 3,35	
32	24	6,54	\pm 1,73	18,04	\pm 2,26	



Obr.5.27 - Graf dosažené drsnosti povrchu pro materiál 15 128 při obrábění tříbřitou frézou



Obr. 5.28 - Graf závislosti drsnosti R_a na rychlosti posuvu pro materiál 15 128 při obrábění tříbřitou frézou



Obr. 5.29 - Graf závislosti drsnosti R_z na rychlosti posuvu pro materiál 15 128 při obrábění tříbřitou frézou

Z grafu na obrázku 5.27 vyplývá, že při posuvové rychlosti 5 m.min^{-1} je dosahováno nejhorších hodnot parametrů drsnosti povrchu. Po překročení této rychlosti posuvu dochází ke snížení parametrů drsnosti. Nejlepších parametrů drsnosti je dosahováno při rychlosti posuvu 15 m.min^{-1} . Se zvyšující se rychlostí posuvu dochází ke zhoršení kvality obrobeného povrchu. Z grafu vyplývá, že by se posuvové rychlosti u tohoto materiálu měly pohybovat okolo 15 m.min^{-1} .

6 Zhodnocení kreativního přístupu při tvorbě produktů

Mezi základní výhody vysokorychlostního obrábění oproti konvenčním technologiím patří zlepšení kvality obrobeného povrchu, která vede k minimalizaci nebo k úplnému odstranění dokončovacích operací. Důsledkem vysoké hodnoty úběru materiálu se získá větší objem odebraného materiálu resp. třísek za jednotku času. Množství odebraného materiálu je zhruba o 30% větší než při konvenčním obrábění.

Se zvyšujícími se otáčkami vřetena je umožněna vyšší posuvová rychlost při stejné tloušťce odebíraného materiálu jako při konvenčním obrábění. Proto je dosaženo významného snížení strojních časů a energetických úspor.

Zkoušky drsnosti byly provedeny na všech 32 plochách v podélném a příčném směru ve směru vektoru posuvu. Při frézování tříbřitou frézou prvního zkoušeného materiálu 12 050.1 jsme se pohybovaly v menším intervalu drsnosti než při frézování čtyřbřitou frézou. U čtyřbřité frézy byly nejlepší parametry dosahovány při rychlosti posuvu $1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. U tříbřité frézy byly nejlepší parametry drsnosti dosahovány při rychlosti posuvu $5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Nejhorších parametrů drsnosti povrchu bylo dosaženo při obrábění posuvové rychlosti $10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. U oceli 12 050.1 nedoporučujeme použít vyšších posuvových rychlostí, kdyby bylo předmětem obrábění docílit kvalitní obrobenou plochu.

Dále byly porovnány parametry drsnosti materiálu ASP 2023 po obrobení materiálu tří a čtyřbřitou frézou. U tříbřité frézy byly nejlepší parametry drsnosti dosahovány při rychlosti posuvu $24 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. U čtyřbřité byly nejlepší parametry drsnosti dosahovány také při rychlosti posuvu $24 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Experiment potvrdil výhody vysokorychlostního obrábění.

Posledním zkoušeným materiálem byla ocel 15 128. U tříbřité i čtyřbřité frézy bylo dosahováno nejhorších parametrů drsnosti při posuvové rychlosti $5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Po překročení této posuvové rychlosti docházelo ke snížení parametrů drsnosti. Nejlepších parametrů drsnosti bylo dosahováno při posuvové rychlosti $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Z grafu můžeme doporučit posuvovou rychlost $24 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, jelikož byly parametry drsnosti povrchu nepatrně vyšší. Výsledkem bude zkrácený strojní čas.

Z ekonomického hlediska, zkrácení strojních časů a energetických úspor bude pro nás výhodnější použít vyšších posuvových rychlostí. Bude dosaženo stejných

nebo nepatrně horších parametrů drsnosti jako při obrábění konvenčními technologiemi.

7 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo objasnit kreativní přístup v oblasti obrábění při tvorbě produktů. Předmětem práce bylo provést experiment, a to vysokorychlostní frézování vybraných materiálů a následně podrobit analýze obrobený povrch.

Historický vývoj vedl od systému pokus – omyl až k materiálním produktům, tedy od běžného konvenčního obrábění docházelo přes pokusy k vysokorychlostnímu obrábění. Nelze přesně říci, že konvenční obrábění přechází do oblasti vysokorychlostního obrábění od určité řezné rychlosti, aniž bychom brali ohled na ostatní podmínky vytvářející proces.

Pojem obrábění vysokými řeznými rychlostmi neznamena jen to, že se obrábí vysokou řeznou rychlostí, ale také vysokými posuvovými rychlostmi. Jedná se o vysoce výkonné obrábění, při kterém se dosahuje velkých objemů obrobeného materiálu za časovou jednotku. Všeobecně spočívá vysokorychlostní obrábění, v našem případě frézování, v dosahování kratších strojních časů při současném zvýšení přesnosti a kvality obrobených ploch. V dnešní době se výroba směřuje k optimalizaci řezných podmínek. To znamená, obrábět s nejvyšší přesností a kvalitou obrobeného povrchu, v nejkratším strojním čase při minimálním opotřebení řezných nástrojů.

Jednou z možností, jak ověřit tyto výhody, bylo zhodnotit kvalitu obrobeného povrchu po obrobení tří experimentálních materiálů. Zkoušeným materiálem byla ocel 12 050.1, ASP 2023 a 15 128. Ocel se frézovala stanovenými řeznými parametry a vybranými řeznými nástroji.

Předmětem zkoušky bylo vyhodnocení obrobeného povrchu a zjištění, při jakých optimálních posuvových rychlostech lze zajistit co nejvyšší kvalitu obrobeného povrchu.

Materiály byly po obrobení podrobeny analýze drsnoměrem SurfTest SJ-401 společnosti MITUTOYO (viz obr. 5.10) v prostorách Katedry obrábění a montáže Fakulty strojní VŠB-TU Ostrava. Drsnost povrchu se měřila jak v podélném, tak i příčném směru k vektoru posuvu. Následně byly sestaveny grafy, které zaznamenávají závislost drsnosti obrobeného povrchu na posuvové rychlosti. Ze sestavených grafů je patrné, že při vyšších posuvových rychlostech nedochází ke značnému zhoršení kvality obrobených povrchů.

Z tohoto závěru vyplývá, že je možné obrábět zkoušené materiály při vyšších rychlostech řezání i posuvů, aniž by zvýšení těchto řezných parametrů vedlo ke zhoršení kvality obrobeného povrchu.

Děkuji Ing. et Ing. Mgr. Janě Novákové, z Katedry obrábění a montáže FS VŠB – TU Ostrava za cenné a podnětné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce.

Použité zdroje

- [1] NOVÁKOVÁ, J. *Kreativní tvorba produktů v progresivním obrábění*. Diplomová práce. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2005. 60 s.
- [2] NOVÁK, J. *Organizace a řízení – učební text*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2007. 76 s.
- [3] BIOLKOVÁ, J. *Přehled dějin vědy a techniky ve strojírenství*. Ostrava: soukr. vydání, Katedra společenských věd, 2007. 127 s.
- [4] BÉKÉS, J. *Kreatika alebo výroba a vytváranie predmetov živočíchmi a strojmi*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2001. 28 s.
- [5] BÉKÉS, J. *Spis o kreatike – o tvoření produktov*. Bratislava: soukr. vydání, 2004. 14 s.
- [6] BÉKÉS, J. a kol. *Teória výrobných technológií*. In : Zborník referátoc z medzinárodnej konferencie „Nové smery vo výrobných technológiách 2000“. Prešov : katedra výrobných technológií, FVT Prešov, 2000. 19-22 s. ISBN 80-7099-524-6.
- [7] Kennametal Europe GmbH, Neuhausen am Rheinfall, Švýcarsko. Milling Tool Catalog 6050 – metric [online]. 2006 [cit. 2009-01-15]. s. 580. Dostupný z WWW:< https://www.kennametal.com/images/repositories/PDFs/milling_metric_finalr.pdf >.
- [8] Technotools OHG, Haferwende, Germany. DMU 60 monoBLOCK® [online]. [cit. 2009-01-15]. Dostupný z WWW:< http://www.technotools.de/assets/images/DMU_60_monoBlock.gif >.
- [9] Gildemeister Aktiengesellschaft, Bielefeld, Germany. DMU 60 monoBLOCK®/ Highly dynamic, for the shortest cycle times at the highest quality [online].[cit.2009-01-15]. Dostupný z WWW:< <http://www.dmgczech.com/en,milling,dmu60monoBLOCKnd?opendocume nt> >.
- [10] VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 1. vyd. PRAHA: SNTL. 1983. 672 s.
- [11] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie část 1*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 112 s.
- [12] Mitutoyo Česko s.r.o., Teplice, Česká republika. Drsnoměry měření jakosti povrchu [online]. [cit. 2009-01-15].Dostupný z WWW:< http://www.mitutoyo-czech.cz/cz/pdf/06_drsnomery.pdf >.